



TUGAS AKHIR - RC14-1501

PERILAKU KEKUATAN TEKAN BETON SERBUK REAKTIF

CANDRA GUNAWAN

NRP 3111 000 027

Dosen Pembimbing

Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D

Prof. Dr., Ir., I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



TUGAS AKHIR RC14-1501

PERILAKU KEKUATAN TEKAN BETON SERBUK REAKTIF

Candra Gunawan
NRP. 3111 100 027

Dosen Pembimbing

Prof. Tawio, S.T., M.T., Ph.D
Prof. Dr., Ir., I Gusti Putu Raka, DEA

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknologi Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - RC14-1501

COMPRESSIVE STRENGTH OF REACTIVE POWDER CONCRETE

CANDRA GUNAWAN

NRP 3111 000 027

Academic Supervisors

Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D

Prof. Dr., Ir., I Gusti Putu Raka, DEA

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering and Planning

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT RC14-1501

COMPRESSIVE STRENGTH OF REACTIVE POWDER CONCRETE

Candra Gunawan
NRP. 3111 100 027

Advisor
Prof. Tavo, S.T., M.T., Ph.D
Prof. Dr., Ir., I Gusti Putu Raka, DEA

Civil Engineering Dept.
Faculty of Civil Engineering and Planning
SepuluhNopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**PERILAKU KEKUATAN TEKAN BETON SERBUK
REAKTIF**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

CANDRA GUNAWAN

NRP. 3111100027

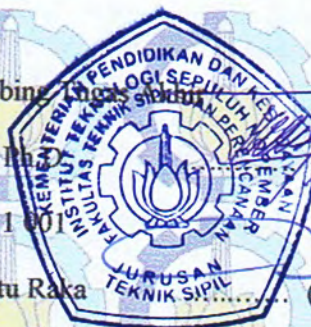
Disetujui oleh Pembimbing I

Prof. Tavio, S.T., M.t., Ph.D

NIP 19700327 199702 1 001

Prof. Dr. Ir. I. Gusti Putu Raka

NIP 19500403 197603 1 003



(Pembimbing 1)

(Pembimbing 2)

PERILAKU KEKUATAN TEKAN SERBUK REAKTIF

Nama : Candra Gunawan
NRP : 311110027
Jurusan : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D
: Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.

Abstrak

Penelitian Reactive Powder Concrete (RPC) direncanakan memakai bahan dengan kualitas khusus dan sedikit berbeda ketimbang beton pada umumnya. Proses pembuatan RPC hampir sama dengan pembuatan beton pada umumnya. Material yang dipakai dalam pembuatan RPC, adalah Semen type I, Silica Fume, Steel Fiber tipe hooked, Agregat Granulated Blast Furnace dengan ukuran halus, pasir, dan HRWR. Komposisi RPC dipertimbangkan dengan melihat penelitian berlanjut oleh Serdar Aydin dkk pada tahun 2010 dan tahun 2013 mengenai Reactive Powder Concrete dalam jurnal ACI material. Penelitian dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap mortar dan tahap beton. Perubahan komposisi tiap benda uji mortar tergantung pada variabel bebas, yaitu GGBFS, Silica Fume, dan semen OPC. Sedangkan untuk tahap dua, variabel bebas yang dipakai adalah superplasticizer, dan Steel Fiber. Subyek dalam penelitian RPC dititik beratkan pada nilai kuat tekan beton dengan target lebih dari 100MPa. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimal campuran agar sampel mencapai kuat tekan yang diharapkan

Kata Kunci: *Reactive Powder Concrete, Steel Fiber, HRWR, Cement Type I*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

COMPRESSIVE STRENGTH OF REACTIVE POWDER CONCRETE

Student Name : Candra Gunawan
Student's ID Number : 31-11-100-027
Department : Civil Engineering FTSP-ITS
Supervisors : Prof. Tavio, S.T. M.T. Ph. D.
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Abstract

The research on Reactive Powder Concrete (RPC) was carried out using materials of special quality and somewhat different with those used in normal concrete. The making process of RPC is almost similar with that of normal concrete.

The materials for making RPC are Ordinary Portland Cement (OPC), Silica Fume, hooked-type Steel Fiber, GGBFS, sand, and HRWR. The composition of RPC was considered by reviewing the previous research conducted by Aydin, et al. (2010 and 2013).

The research was divided into two phases, i.e. mortar and concrete-specimen phases. The composition of mortar specimens depends on several parameters, such as GGBFS, Silica Fume, and OPC. In the second phase, the parameters studied were Superplasticizer and Steel Fiber.

The main objective of this research is to obtain very high compressive strength of concrete of more than 100 MPa with optimum mixture proportion.

Keywords: *Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), HRWR, Ordinary Portland Cement (OPC), Reactive Powder Concrete (RPC), Steel Fiber.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segenap puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat ridho dan hidayah-Nya maka penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Perilaku Kekuatan Tekan Beton Serbuk Reaktif”**.

Pengerjaan Tugas Akhir ini merupakan prasyarat akademik untuk menuntaskan pendidikan bagi mahasiswa Strata satu (S1) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini tentunya tak luput dari sejumlah kesalahan dan masih jauh dari kesempurnaan, namun penulis sudah berusaha semaksimal mungkin untuk dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Untuk itu diharapkan saran dan arahan untuk dapat memperbaiki Tugas Akhir ini. Penulis senantiasa terbuka untuk menerima masukan dan arahan.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk semua orang.

Surabaya, Januari 2015

Candra Gunawan.

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan.....	i
Kata Pengantar.....	ii
Abstrak.....	iii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel.....	ix

BAB I

1.1. Latar belakang masalah.....	1
1.2. Rumusan masalah.....	2
1.3. Tujuan masalah.....	3
1.4. Batasan masalah.....	3
1.5. Manfaat penelitian	3

BAB II

2.1. Reactive powder concrete	5
2.2. RPC dengan curing standar	5
2.3. Alternatif peningkat kuat tekan RPC	6
2.4. Fiber pada RPC	8
2.5. Pengaruh komposisi silika fume dan fiber pada RPC.....	9
2.6. Pengaruh kehalusan material pada campuran beton.....	10
2.7. Pengaruh nilai slump pada RPC	10
2.8. Pengaruh umur pada RPC yang menggunakan GGBFS	11

BAB III

3.1. Umum	13
3.2. Skema penelitian	13
3.3. Skema metodologi.....	15
3.4. Studi Literatur	18
3.5. Persiapan Material, Alat dan Penjadwalan Penelitian.....	18
3.6. Jadwal Penelitian.....	27
3.7. Tes dan Analisa Material	29
3.8. Mortar	29
3.9. Beton	34
3.10. Jenis Pengetesan	36
3.11. Hasil Penelitian.....	50
3.12. Kesimpulan Penelitian	51

BAB IV

4.1.	Umum	53
4.2.	Data hasil analisa material serbuk reaktif	53
4.3.	Analisa material agregat halus dan kasar	68
4.4.	Mortar serbuk reaktif	75
4.5.	Beton serbuk reaktif	95

BAB V

5.1.	Kesimpulan	109
5.2.	Saran	110

DAFTAR PUSTAKA	111
----------------------	-----

Biodata Penulis

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Efek jenis agregat dalam kuat tekan beton	8
Gambar 2.2.	Nilai kuat tekan beton terhadap jenis fiber	9
Gambar 3.1.	Peta skema penelitian keseluruhan.....	14
Gambar 3.2.	Skema penelitian RPC	16
Gambar 3.3.	Semen OPC.....	19
Gambar 3.4.	Pasir Ottawa.....	19
Gambar 3.5.	Pasir Lumajang.....	20
Gambar 3.6.	Silica fume	21
Gambar 3.7.	Glenium sky 8851.....	21
Gambar 3.8.	GGBFS.....	22
Gambar 3.9.	Hooked steel fiber.....	23
Gambar 3.10.	Mesin pulverizer.....	24
Gambar 3.11.	Mesin ball mill.....	25
Gambar 3.12.	Mesin vertical mill.....	25
Gambar 3.13.	Mesin XRD.....	26
Gambar 3.14.	Mesin PSA.....	26
Gambar 3.15.	Detail penjadwalan penelitian	28
Gambar 3.16.	Alat uji kuat tekan (UTM)	39
Gambar 4.1.	Persiapan pengujian berat jenis material serbuk.....	54
Gambar 4.2.	Pengujian berat jenis material serbuk	54
Gambar 4.3.	Persiapan pengujian XRD material.....	55
Gambar 4.4.	Pengujian XRD material.....	55
Gambar 4.5.	Pengujian distribusi ukuran dengan alat PSA.....	55
Gambar 4.6.	Grafik Log Distribusi partikel GGBFS.....	57
Gambar 4.7.	Hasil XRD GGBFS.....	60
Gambar 4.8.	Perbandingan antara GGBFS benda uji dan GGBFS lokasi lainnya.....	61
Gambar 4.9.	Grafik Log Distribusi partikel semen OPC.....	63
Gambar 4.10.	Grafik Log Distribusi partikel silica fume.....	67
Gambar 4.11.	Gradasi ayakan pasir.....	72
Gambar 4.12.	Serbuk Reaktif yang telah tercampur rata.....	76

Gambar 4.13.	Mixing mortar dengan alat mixer.....	76
Gambar 4.14.	Pengujian besar flow dengan meja alir.....	77
Gambar 4.15.	Pencetakan mortar.....	77
Gambar 4.16.	Kebutuhan air dengan variabel bebas GGBFS pada mortar.....	80
Gambar 4.17.	Kebutuhan air dengan variabel bebas silica fume pada mortar.....	81
Gambar 4.18.	Alat kuat tekan mortar.....	83
Gambar 4.19.	Pengetesan kuat tekan mortar.....	83
Gambar 4.20.	Grafik kuat tekan mortar.....	91
Gambar 4.21.	Beton segar serbuk reaktif.....	96
Gambar 4.22.	Beton serbuk reaktif.....	96
Gambar 4.23.	Kuat tekan beton.....	102
Gambar 4.24.	Grafik peningkatan kuat tekan akibat persentase fiber pada beton umur 28hari.....	103
Gambar 4.25.	Grafik peningkatan kuat tekan beton akibat persentase superplasticizer pada beton umur 28 hari.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Penamaan sampel benda uji mortar	36
Tabel 3.2.	Jumlah bahan campuran mortar semen portland.....	38
Tabel 3.3.	Jumlah bahan campuran mortar semen portland pozzoland.....	39
Tabel 3.4.	Penamaan sampel benda uji beton	44
Tabel 3.5.	Tabel Toleransi waktu umur pengujian	47
Tabel 3.6.	Koreksi Kuat Tekan untuk benda uji silinder ..	48
Tabel 3.7.	Standar deviasi kontrol beton.....	49
Tabel 3.8.	Berat contoh uji agregat kasar	50
Tabel 3.9.	Contoh berat sampel uji agregat kasar.....	56
Tabel 3.10.	Tabel Contoh Uji Keausan Agregat 1	61
Tabel 3.11.	Tabel Contoh Uji Keausan Agregat 2	62
Tabel 4.1.	Hasil percobaan berat jenis GGBFS	70
Tabel 4.2.	Detail Distribusi partikel GGBFS	72
Tabel 4.3.	Komposisi kimia GGBFS (% terhadap berat) ..	73
Tabel 4.4.	Detail Distribusi partikel semen OPC.....	78
Tabel 4.5.	Hasil percobaan berat jenis Semen OPC	79
Tabel 4.6.	Komposisi kimia Semen OPC.....	80
Tabel 4.7.	Detail distribusi partikel silica fume.....	82
Tabel 4.8.	Hasil percobaan berat jenis silica fume	84
Tabel 4.9.	Input data analisa berat jenis pasir	85
Tabel 4.10.	Perhitungan data analisa pasir.....	86
Tabel 4.11.	Analisa gradasi ayakan pasir	88
Tabel 4.12.	Input data analisa berat jenis kerikil	90
Tabel 4.13.	Perhitungan data analisa berat jenis kerikil.....	91
Tabel 4.14.	Analisa keausan agregat kasar.....	92
Tabel 4.15.	Perbandingan serbuk reaktif dalam sementisius	96
Tabel 4.16.	Kebutuhan air tiap variabel dan nilai flowability mortar.....	97
Tabel 4.17.	Kuat tekan mortar 7hari dalam kg	102

Tabel 4.18.	Kuat tekan mortar 14hari dalam kg	103
Tabel 4.19.	Kuat tekan mortar 28hari dalam kg	104
Tabel 4.20.	Kuat tekan mortar 7hari dalam MPa	105
Tabel 4.21.	Kuat tekan mortar 14hari dalam MPa.....	106
Tabel 4.22.	Kuat tekan mortar 28 hari dalam MPa	107
Tabel 4.23.	Kuat tekan mortar rata-rata dalam (MPa).....	108
Tabel 4.24.	Berat sampel mortar	112
Tabel 4.25.	Berat volume sampel mortar	112
Tabel 4.26.	Mix design komposisi beton 1m3	116
Tabel 4.27.	Kuat tekan beton 7 hari dalam ton	117
Tabel 4.28.	Kuat tekan beton 14 hari dalam ton	117
Tabel 4.29.	Kuat tekan beton 28 hari dalam ton	118
Tabel 4.30.	Kuat tekan beton 7 hari dalam MPa	118
Tabel 4.31.	Kuat tekan beton 14 hari dalam MPa.....	119
Tabel 4.32.	Kuat tekan rata-rata dalam MPa.....	119
Tabel 4.33.	Berat benda uji beton umur 28hari.....	120
Tabel 4.34.	Berat volume beton umur 28hari.....	125
Tabel 4.35.	Kuat tekan beton 28 hari dalam MPa.....	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan beton mutu tinggi tiap negara semakin meningkat hingga mulai memunculkan beton mutu super tinggi yang dikenal dengan reactive powder concrete atau disingkat dengan RPC. RPC ini dikenal karena memiliki nilai kuat tekan beton minimal 150 MPa hingga 800MPa. (Lee, dan Chrisholm, 2005)

Penelitian RPC dimulai pada tahun 1999 di Amerika, akan tetapi karena kurangnya macam bahan kimia dan kemampuan teknologi beton pada tahun itu menyebabkan kurang berhasilnya penelitian. (Serdar, et al., 2010)

Kuat tekan RPC sangat dipengaruhi oleh faktor internal yaitu kekerasan agregat, dan ikatan antara semen dengan agregat yang memiliki diameter cukup kecil. Pemilihan agregat berupa slag, kerikil, atau batuan alam dan komposisi beton sangat penting karena dapat berdampak beda kuat tekan yang sangat signifikan. (Wille, et al, 2010 ; Shaheen, and Shrive, 2006). Sedangkan untuk faktor eksternalnya adalah proses pembuatan beton dengan diberi tekanan menggunakan alat dan proses curing yang biasa menggunakan steam curing atau curing suhu air hangat. (Wille, et al., 2011; Soliman, and Nehdi, 2011)

RPC merupakan modifikasi dari beton ultra high performance atau sering disebut UHPC. Modifikasi beton ini berdampak pada perubahan sifat getas beton dan tingkat ketahanan api (Lai, et al, 2013; Aydin, and Baradan, 2012). Pemakaian bahan khusus seperti silica fume, dan tambahan kimia merupakan variabel utama dalam pembuatan RPC. (Katz, and Baum, 2006; Han, et al., 2013)

RPC sudah dipakai di berbagai proyek besar di Dubai, Amerika, Taiwan dan negara di Eropa. Dengan menggunakan RPC, maka kita dapat mereduksi besarnya ukuran kolom, dan mengurangi efek kerusakan dari kebakaran. Akan tetapi, dengan

kenaikan kuat tekan beton yang sangat signifikan membuat sifat beton menjadi getas atau brittle (Magureanu, et al, 2012)

Sifat brittle dalam beton harus dapat dihindari untuk mengamankan penghuni jika terjadi sebuah kegagalan struktur. Untuk merubah tingkat kegetasan sebuah struktur dapat menggunakan berbagai macam jenis fiber yang memiliki sifat daktail dan meningkatkan kuat tekan beton secara tidak langsung sesuai jenis dan tipe fiber (Wille, and Naaman, 2013).

RPC merupakan modifikasi terbaru di kuat tekan beton (Aydin, and Baradan, 2013). Sebelum RPC dapat dipakai di konstruksi Indonesia, maka perlu adanya penelitian khusus tentang komposisi dan pengaruh bahan kimia agar didapat komposisi optimal RPC sebagai dasar dalam pengembangan beton di Indonesia

Hal ini yang menjadikan dasar pembuatan tugas akhir, sehingga dapat berguna dalam mengembangkan teknologi beton di Indonesia dan tidak semakin tertinggalnya Indonesia oleh negara lainnya dalam bidang konstruksi.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam Tugas Akhir penelitian RPC adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi optimal campuran bahan dalam pembuatan beton serbuk reaktif?
2. Bagaimana pengaruh tiap material terhadap nilai kuat tekan?
3. Bagaimana berat jenis beton serbuk reaktif?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Utama dalam Tugas Akhir penelitian RPC adalah

1. Menentukan komposisi optimal campuran bahan dalam pembuatan RPC dari hasil yang ada

1.3.2 Tujuan secara detail dari pembahasan Tugas akhir penelitian RPC adalah

1. Menentukan pengaruh dari tiap material terhadap nilai kuat tekan?
2. Menetapkan berat jenis beton serbuk reaktif

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian RPC tetap fokus pada tujuan utama, maka perlu dibatasi masalah yang dikaji, antara lain

1. Perencanaan penlitian hanya meninjau kuat tekan beton dan tidak mengkaji tingkat daktilitas dan modulus beton
2. Fiber dalam campuran beton difungsikan untuk menambah kuat tekan beton
3. Perencanaan penelitian tidak meninjau kuat lentur dari beton

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dalam penelitian RPC adalah

1. Mampu merencanakan campuran yang diperlukan untuk beton mutu tertentu
2. Memahami campuran optimal untuk beton untuk mendapat mutu kuat tekan yang optimal
3. Memahami pengaruh tiap bahan yang ada dalam campuran beton terhadap kuat tekan beton
4. Menambah pengalaman dan pengetahuan yang berguna di saat bekerja nanti bagi penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Reactive Powder Concrete (RPC)

RPC dengan target melebihi nilai kuat tekan 200MPa dapat dicapai dengan menggunakan material, teknik pencampuran, dan curing seperti pada beton di industri beton prestress umumnya. Dalam penambahan unsur silica yang reaktif di dalam campuran, kemampuan dari RPC akan sangat tergantung dari kandungan serbuk.. Campuran RPC ini mengharuskan ukuran agregat berisfar granular atau yang besarnya relatif sama. Ukuran diameter silica fume, semen, dan agregat dalam campuran RPC pada umumnya sekitar 0.1,20, dan 300 μm . (Lee, and Chrisholm, 2005)

RPC menggabungkan antara komposisi campuran yang bersifat granular dengan superplasticizer dengan dosis tinggi. Hasil yang didapat dari pencampuran tersebut adalah berupa beton segar terlihat seperti tar dan mengkilat. Beton segar ini bersifat sangat kohesif dibandingkan dengan beton pada umumnya, sehingga evaluasi dengan test slump tidak dapat dipakai sebagai acuan lagi. (Lee, and Chrisholm, 2005)

2.2. RPC dengan curing standar

Penelitian yang dilakukan oleh Wille, K, A.E, Naaman, and G.J.Parra-Montesinos tahun 2011 menjelaskan bahwa pembuatan RPC dapat dilakukan tanpa menggunakan steam curing atau curing autoklaf. Ide utama dalam pembuatan adalah dengan meningkatkan densitas beton dan meningkatkan flow ability. Peningkatan densitas beton dapat dilakukan dengan memakai bahan material yang tepat, sedangkan peningkatan flow ability pada proses pembuatan beton dapat di lihat melalui flow cone test. (Wille, et al, 2011)

Hasil dari flow cone test dapat dijadikan indicator untuk mengoptimalkan kepadatan beton dan untuk mengurangi usaha yang sia-sia dalam upaya menghasilkan material campuran beton. Ketika hasil dari tes menyatakan tingkat density yang

tinggi, maka tidak hanya nilai kuat tekan beton yang meningkat, tetapi juga kemudahan pelaksanaan pembuatan beton tersebut meningkat. (Wille, et al, 2011)

Ada beberapa kondisi material dalam campuran yang harus terpenuhi, antara lain : (Wille, et al, 2011)

1. Semen harus memiliki tingkat kehalusan menengah dalam klasifikasinya dan memiliki kandungan C_3A jauh lebih rendah dari 8% untuk mengurangi penyerapan air dalam semen yang sangat berpengaruh dalam nilai kuat tekan
2. Rasio pasir per semen optimum diperkirakan kurang lebih 1,4 dengan diameter butiran agregat sebesar 0,8 mm. Penggunaan pasir dengan gradasi yang berbeda memiliki tingkat rasio pasir per semen optimal yang berbeda
3. Silika Fume harus dipilih dengan kandungan karbon yang sangat rendah, yaitu kurang dari 0.5%. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat kadar optimum sebesar 25% dari berat semen
4. Ukuran rata-rata diameter partikel silika fume ditentukan sekitar $1,2\mu m$, lebih besar dari silika fume pada umumnya yaitu $0,5\mu m$ agar mengurangi penyerapan air. Ukuran rata-rata partikel tidak mempengaruhi nilai kuat tekan beton
5. Kadar optimum dari serat kaca adalah 25% dari berat semen dengan ukuran diameter rata-rata $1,7\mu m$
6. HRWR berbahan eter polycarboxylate sangat berpengaruh dalam campuran beton. Kadar optimum HRWR antara 1,4 hingga 2,4% dari berat semen
7. Rasio air total per semen optimal sekitar 0.22, perlu diperhatikan kandungan air di HRWR dan silika fume

2.3. Alternatif Peningkat kuat tekan RPC

Dalam penelitiannya tahun 2010, A. Serdar mengungkapkan bahwa kemampuan kuat tekan beton dapat

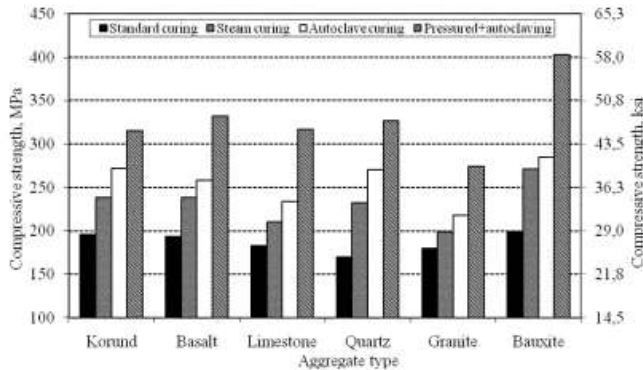
ditingkatkan dengan menggunakan agregat yang berkekuatan tinggi dan memiliki permukaan kasar. Namun demikian, beton dengan target kuat tekan sebesar 170 hingga 180 MPa dapat diperoleh dengan menggunakan agregat dengan kualitas rendah seperti batu kapur, atau dengan agregat yang memiliki permukaan halus, dan bahkan dengan menggunakan curing standart. Kuat tekan RPC dengan agregat bertekstur kasar dan berkualitas tinggi dapat mencapai lebih dari 200MPa walaupun hanya dengan curing standart. (Serdar, et al, 2010)

Kekuatan tekan RPC dapat ditingkatkan dengan merubah metode curing seperti dengan menggunakan steam curing atau autoklaf. Dengan menggunakan steam curing atau autoklaf, beton akan mengalami proses hidrasi yang lebih baik dibanding curing standart sehingga akan menghasilkan kuat tekan beton yang lebih tinggi. Peningkatan sebesar 11% hingga 36% dapat dicapai bila menggunakan steam curing, sedangkan peningkatan 21% hingga 59% akan dapat dicapai bila curing menggunakan autoklaf. Dengan memanfaatkan peningkatan tekanan uap atmosfer dan peningkatan suhu ruang, curing autoklaf dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan mencapai 218 hingga 285 MPa tergantung dengan tipe agregat. (Serdar, et al, 2010)

Penerapan tekanan dalam curing sebelum dan selama pemadatan beton juga meningkatkan secara signifikan kekuatan tekan RPC, khususnya pada beton dengan agregat yang memiliki kekuatan tinggi, permukaan kasar kecuali campuran dengan menggunakan agregat batu granit. Semua campuran beton dengan curing autoklaf menghasilkan mutu kuat tekan beton lebih dari 300MPa dan mencapai 400 MPa dengan menggunakan agregat bauksit. (Serdar, et al, 2010)

Pemakaian steam curing dan autoklaf hanya meningkatkan kuat tekan beton dan tidak meningkatkan nilai density maupun nilai kuat lentur beton yang dikarenakan curing ini tidak memperkuat ikatan fiber dengan beton sendiri. (Serdar, et al, 2010)

Sebuah penyelidikan tentang mikrostruktur beton, menyatakan bahwa RPC memiliki tingkat kerapatan atau density yang lebih padat ketimbang beton pada umumnya sehingga membuat kuat tekan beton dan berat jenis beton menjadi meningkat (Serdar, et al, 2010)



Gambar 2.1 Efek jenis agregat dalam kuat tekan beton (Serdar, et al, 2010)

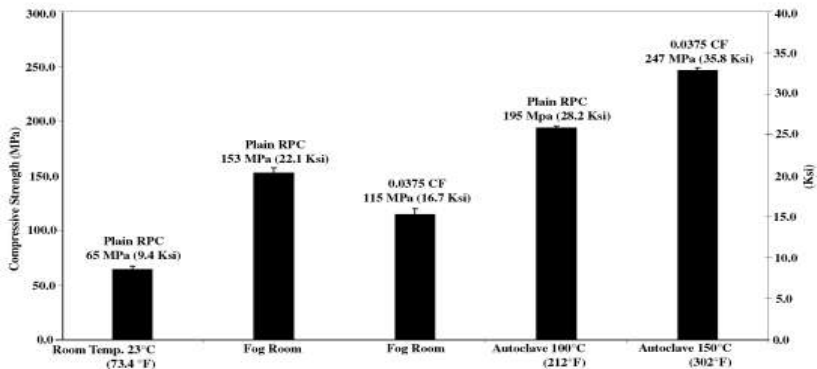
2.4. Fiber Pada RPC

RPC komposit dengan memakai tulangan dari serat karbon atau logam didalamnya mulai dikembangkan di dalam dunia teknik sipil. Beton ini dapat mencapai kekuatan 500 Mpa dalam waktu 7hari. Beton komposit ini sering disebut dengan FRRPC. Campuran beton dapat dioptimalkan dengan mengasumsikan berbagai macam fiber sebagai variabel bebas, dengan hasil fiber logam merupakan variabel fiber yang paling baik ketimbang lainnya. (Shaheen, and Shrive, 2006)

Penggunaan dari fiber logam sudah mulai dihindari karena korosi yang terjadi pada serat baja secara perlahan dalam waktu yang lama ketika telah mencapai kepadatan optimal dari beton tersebut. Pada dasarnya penggunaan fiber baja atau fiber logam lainnya sangat menguntungkan dengan catatan tidak adanya celah yang memungkinkan terjadinya korosi pada daerah

baja atau logam Penambahan fiber pada RPC juga menambah kekakuan beton dan meningkatkan nilai kuat tekan atau tarik RPC itu sendiri. (Shaheen, and Shrive, 2006)

RPC dengan memakai fiber carbon akan dapat melawan pengaruh lingkungan akibat suhu salju ataupun saat es yang mencair. Selain itu, beton masih dapat dipakai dalam lingkungan bersalju walaupun beton telah mengalami retak. (Shaheen, and Shrive, 2006)



Gambar 2.2 Nilai kuat tekan beton terhadap jenis fiber (Shaheen, and Shrive, 2006)

2.5. Pengaruh Komposisi Silika Fume dan Fiber Pada RPC

Penelitian RPC dengan menggunakan variabel volume fiber baja dan silica fume yang dilakukan oleh AL-Hassani, H.M., et al pada januari tahun 2014 didapatkan hasil bahwa : (Hassani, et al, 2014)

1. Hasil penelitian dengan meningkatkan fraksi fiber baja dari 0, 1, 2, dan 3 persen berpengaruh pada nilai kuat tekan beton silinder sebesar 6.36%, 9.9%, dan 11.54%
2. Melalui peningkatan komposisi campuran silica fume dari 0 menjadi 10, 20, 25, dan 30 persen berdampak pada nilai kuat tekan beton silinder dengan peningkatan sebesar 17.56%, 20.3%, 33.79%, dan 41.04%

2.6. Pengaruh Kehalusan Material Pada Campuran Beton

Tingkat kehalusan material campuran mempengaruhi sifat beton itu sendiri. Perubahan sifat beton ini dapat berdampak baik dan buruk dalam campuran beton. Perubahan sifat beton dapat berupa kebutuhan air yang lebih banyak, atau pada nilai kuat tekan beton akibat rongga beton yang tertutup oleh material yang lebih halus. (Katz, and Baum, 2006)

Perlunya peningkatan volume HRWR akibat material campuran yang semakin halus, hal ini bertujuan untuk mengembalikan workability yang telah berubah menjadi sama dengan beton pada umumnya. Workability beton dapat berubah diakibatkan karena campuran beton yang semakin susah pelaksanaannya ketika material campuran menjadi semakin halus. (Katz, and Baum, 2006)

Penambahan material halus pada campuran, meningkatkan nilai kuat tekan beton sekitar 30% pada umur 28 hari dibandingkan dengan kuat tekan beton saat memakai material yang kasar. Semakin halus material tidak berbanding lurus dengan peningkatan kuat tekan beton. Sebagian besar peningkatan terjadi dengan penambahan agregat yang sedikit halus, tetapi kekuatan tekan beton tidak berubah banyak ketika agregat yang dipakai lebih halus dari sebelumnya. (Katz, and Baum, 2006)

2.7. Pengaruh nilai Slump pada RPC

Pengaruh faktor air semen yang sangat kecil, menyebabkan Reactive Powder Concrete menjadi sangat padat dan tebal, sedangkan ketika diberi superplasticizer, maka RPC berubah menjadi lebih encer. Dengan menggunakan superplasticizer maka perencana dapat memainkan nilai slump, dan work ability yang diinginkan pada RPC dapat dicapai sesuai keinginan. Untuk mempercepat penyebaran campuran RPC pada cetakan, biasanya digunakan alat berupa vibrator untuk menggetar campuran beton (Shaheen, and Shrive, 2006)

2.8. Pengaruh umur pada RPC yang menggunakan GGBFS

Ground Granulated Blast Furnace Slag adalah hasil limbah dari produksi pabrik baja. Penelitian Reactive Powder Concrete sebelumnya mendapatkan bahwa peningkatan kuat tekan beton akibat pengaruh umur ketika RPC mencapai lebih dari 28 hari tidaklah signifikan. Ketika Beton berumur 28hari, maka kuat tekan yang didapat adalah 176.1 MPa. Sedangkan pada umur 90hari, didapat kuat beton sebesar 187MPa. Kenaikan ini sangat kecil ketika dibandingkan dengan usia beton (Aydin, and Baradan, 2013)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

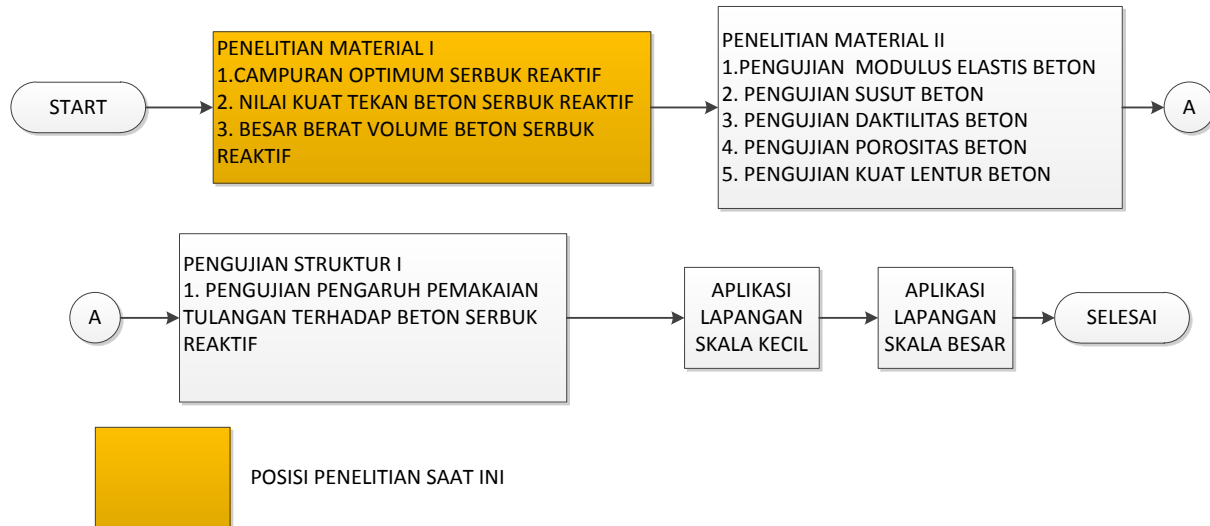
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Sebelum mengerjakan Tugas Akhir, maka perlu disusun langkah – langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan literatur dan pedoman penelitian, sampai mencapai tujuan akhir dari penelitian.

3.2 Peta skema penelitian keseluruhan

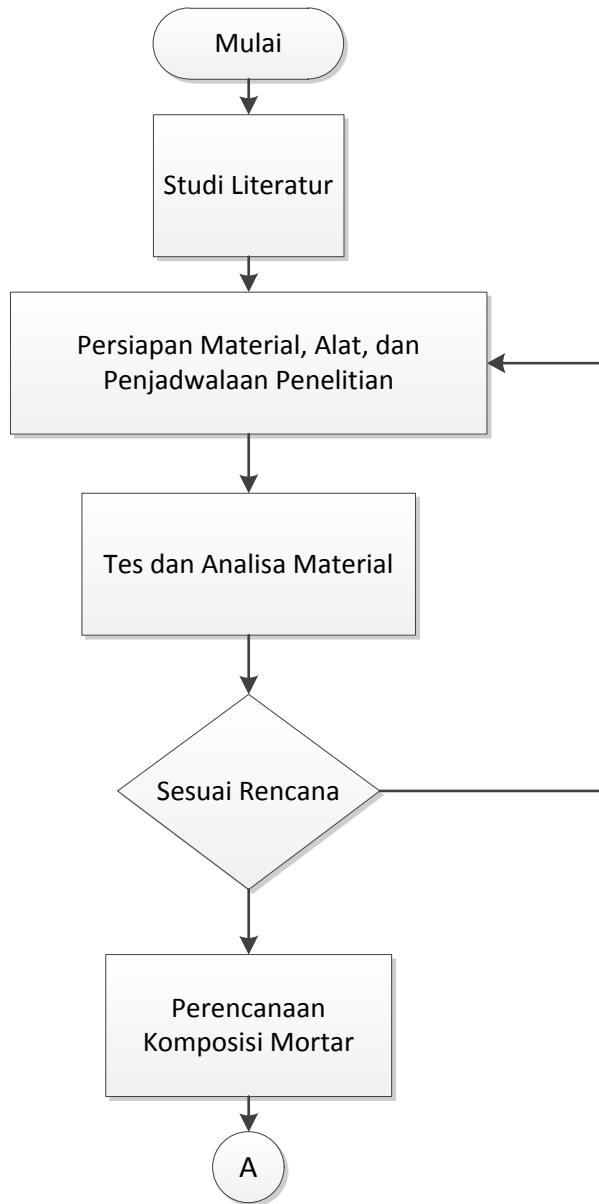
Penelitian beton serbuk reaktif dilakukan dengan tujuan agar dapat diaplikasikan dalam kehidupan nyata. Skema penelitian dibuat agar penelitian dapat berjalan dengan lebih terarah.

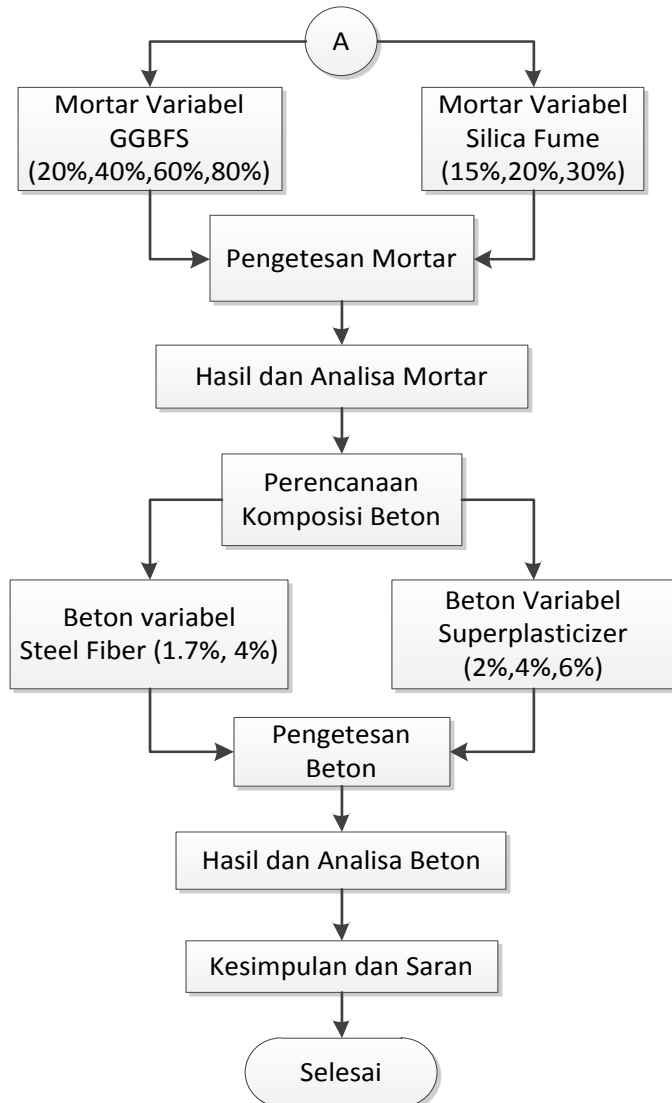


Gambar 3.1. Peta skema penelitian keseluruhan

3.3 Skema Metodologi

Penelitian RPC ini, menggunakan banyak variabel di tahap satu dan tahap dua. Langkah kerja dan diagram alir penelitian dapat dilihat sebagai berikut :





Gambar 3.2. Flowchart skema Penelitian RPC

3.4 Studi Literatur

Tahap studi Literatur yang dilakukan di dalam penelitian RPC adalah dengan menggunakan jurnal-jurnal penelitian material mengenai RPC, pengaruh suhu, metode curing , dan pengaruh fiber pada beton pada 10 tahun terakhir

3.5 Persiapan Material, Alat dan Penjadwalan Penelitian

Tahap persiapan, bertujuan untuk mempersiapkan semua keperluan alat dan bahan agar penelitian dapat berjalan cepat **dengan hasil yang diharapkan.**

3.5.1 Perencanaan Material

Perencanaan material yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Semen tipe I OPC
2. Pasir Lumajang
3. Silica Fume
4. Super Plasticizer (HRWR)
5. GGBFS yang sudah di lakukan proses *grinding* agar ukuran menjadi kecil
6. Steel Fiber
7. Air

3.5.1.1 Semen tipe I OPC

Pemakaian semen tipe 1 dalam campuran, menghasilkan beton yang lebih baik pada umur awal sehingga dapat mempercepat mengetahui perilaku campuran beton atau mortar.



Gambar 3.3. Semen OPC

3.5.1.2 Pasir Ottawa

Pemakaian pasir ottawa dilakukan pada mix design mortar, agar mencegah pengaruh bentuk dari material pasir yang sangat beraneka ragam. Pasir ottawa memiliki butiran berbentuk bulat yang relatif sama antar butirannya



Gambar 3.4. Pasir Ottawa

3.5.1.3 Pasir Lumajang

Pasir berasal dari Lumajang, berwarna hitam dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan pasir pada umumnya.



Gambar 3.5. Pasir Lumajang

3.5.1.4 Silica Fume

Silica fume memiliki kandungan silica yang sangat tinggi. Silica Fume yang dipakai berasal dari fabrikasi, sehingga detail kandungan dan ukuran sama dengan pabrik. Dalam penelitian tidak ada modifikasi pada silica fume yang dipakai.



Gambar 3.6. Silica fume

3.5.1.5 Super Plasticizer (HRWR)

Super Plasticizer yang dipakai adalah Glenium Sky 8851, dengan memiliki tingkat molaritas yang tinggi dan memiliki ikatan kimia yang panjang antar partikel



Gambar 3.7. Glenium Sky 8851

3.5.1.6 GGBFS

GGBFS memiliki kandungan utama CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , dan MgO dengan kadar besi (Fe_2O_3) yang relatif kecil. Besarnya kandungan utama dari GGBFS adalah CaO (30-50%), SiO_2 (28-38%), Al_2O_3 (8-24%), and MgO (1-18%). Perilaku GGBFS dalam campuran bersifat reaktif dan memiliki tingkat kehalusan 3300 cm^2/kg



Gambar 3.8. GGBFS (sudah di giling)

3.5.1.7 Steel Fiber

Steel Fiber merupakan material fabrikasi dengan kualitas yang dijaga oleh pabrik. Steel Fiber berfungsi untuk meningkatkan kuat lentur secara langsung dan kuat tekan beton secara tidak langsung. Steel Fiber yang dipakai berbentuk hooked.



Gambar 3.9. Hooked Steel Fiber

3.5.1.8 Air

Air yang dipakai dalam penelitian mortar adalah air suling, sedangkan untuk beton menggunakan air PDAM

3.5.2 Perencanaan Alat

Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian RPC adalah:

1. Timbangan
 - Timbangan digital
 - Timbangan manual
2. Mesin ayakan, dengan ukuran diameter lubang 75 mm, 50 mm, 38.1 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.85 mm, 0.30 mm, 0.15 dan pan.
3. Cylinder Mold, ukuran 10x20 cm
4. Alat untuk curing
 - Bak Air, untuk setelah benda uji di curing dengan uap
5. Alat bantu dalam pembuatan mortar, dan beton
 - Cetok semen, untuk membantu memasukkan agregat ke dalam cetakan
 - Gelas ukur, untuk mengatur penggunaan air, dan bahan cair lainnya

- Molen, untuk mempermudah proses mixing pada beton
- Mixer, untuk mempermudah proses mixing pada mortar
- Bak kosong, untuk tempat menuang campuran beton dari molen sebelum di masukkan ke bekisting
- Stop watch, digunakan untuk mencatat waktu lamanya pencampuran berlangsung

6. Mesin Giling

- Pulverizer, alat untuk menghaluskan dari kondisi sedikit besar menjadi halus dengan tingkat kehalusan agregat halus. Alat ini dipakai untuk material GGBFS



Gambar 3.10. Mesin Pulverizer

- Ball- Mill, alat untuk menghaluskan dari kondisi halus menjadi ukuran sangat halus sesuai dengan keperluan. Alat ini dipakai untuk material GGBFS



Gambar 3.11. Mesin Ball Mill

- Vertical- Mill, alat untuk menghaluskan dari kondisi halus menjadi ukuran sangat halus sesuai dengan keperluan dengan cepat. Alat ini dipakai untuk material semen



Gambar 3.12. Mesin Vertical Mill

7. Mesin XR-F, digunakan untuk mengetahui sifat kimia yang terkandung dalam material

8. Mesin XR-D, digunakan untuk mengetahui tingkat kereaktifan dan tingkat amorf suatu material



Gambar 3.13. Mesin XRD

9. Mesin PSA, atau Particle Size Analysis untuk mengetahui tingkat kehalusan sebuah material. Alat ini digunakan untuk semen, GGBFS, dan silica fume



Gambar 3.14. Mesin PSA

3.6 Jadwal Penelitian

Waktu yang disediakan untuk menyelesaikan tugas akhir penelitian adalah 18 bulan dengan rincian sebagai berikut:

Mulai	:	September 2014
Selesai	:	Januari 2015

No	Agenda	Minggu ke																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Studi Literatur																		
2	Tahap Persiapan																		
3	Tahap Tes dan Analisa Material																		
4	Tahap Pembuatan Benda Uji																		
5	Tahap Pengujian Benda Uji																		
6	Tahap Analisa dan Pembahasan																		
7	Penyelesaian																		
8	Asistensi																		

Gambar 3.15. Detail penjadwalan penelitian

3.7 Tes hdan Analisa Material

Agregat halus dan kasar didapat dari perusahaan semen di Indonesia. Pengujian material yang dilakukan adalah:

Untuk Agregat Halus:

- *Specific gravity*, bertujuan untuk mengetahui berat jenis serta daya serap agregat terhadap air.
- Gradasi, bertujuan untuk mengetahui susunan diameter butiran pasir dan persentase modulus kehalusan butir (menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir dalam suatu agregat).

Untuk Agregat Kasar (GGBFS):

- Spesific gravity, bertujuan untuk mengetahui berat jenis serta daya serap agregat terhadap air.
- Keausan (Abrasi), dengan menggunakan alat Los Angeles bertujuan untuk mendapatkan nilai keausan dari agregat

3.8 Mortar

Penelitian dimulai dari pembuatan mortar untuk mendapat data yang lebih akurat dari pengaruh serbuk reaktif terhadap nilai kuat tekan. Ukuran mortar yang dipakai adalah 5x5x5 cm berbentuk kubus.

Penelitian mortar serbuk reaktif berdasarkan ASTM, yang mengunci nilai tingkat flow campuran mortar yaitu 18 ± 1 cm dengan menggunakan meja flow. Pemakaian air dalma campuran mortar sangat tinggi. Sehingga nilai kuat tekan menjadi turun.

Variabel komposisi serbuk reaktif menjadi 12 variabel Mortar menggunakan. Pasir yang dipakai berupa pasir putih ottawa untuk mengurangi faktor bentuk pasir yang tidak homogen pada umumnya. Dengan menyamakan ukuran dan bentuk dari agregat halus, maka kuat tekan mortar akan mengalami penurunan yang drastis.

Tabel 3.1. Penamaan sampel benda uji mortar

Nama Sampel	Perbandingan			Waktu Pengetesan	Jumlah Sampel
	Semen	GGBFS	Silica Fume		
BLANKO	1	0	0	7,14,28	9
GGBFS	1	0.25	0	7,14,28	9
SILICA FUME	1	0	0.25	7,14,28	9
A1	1	0.2	0.15	7,14,28	9
A2	1	0.2	0.2	7,14,28	9
A3	1	0.2	0.3	7,14,28	9
B1	1	0.4	0.15	7,14,28	9
B2	1	0.4	0.2	7,14,28	9
B3	1	0.4	0.3	7,14,28	9
C1	1	0.6	0.15	7,14,28	9
C2	1	0.6	0.2	7,14,28	9
C3	1	0.6	0.3	7,14,28	9
D1	1	0.8	0.15	7,14,28	9
D2	1	0.8	0.2	7,14,28	9
D3	1	0.8	0.3	7,14,28	9
TOTAL					135

Pembuatan mortar dalam penelitian memakai standart ASTM, yaitu

3.8.1 Penyiapan Cetakan Benda Uji

1. Oleskan tipis-tipis minyak pelumas dengan menggunakan kain pada bagian dalam cetakan dan dasar plat cetakan

2. Seka kelebihan minyak pelumas dengan kain seperlunya. Lapisan yang menempel dianggap memadai apabila penekanan dengan jari nampak membekas
3. Oleskan minyak pelumas pada bagian permukaan yang akan disambung atau disatukan
4. Sambungkan atau satukan kedua cetakan kuat-kuat dan pasangkan pada dasar plat cetakan
5. Seka dengan kain kering kelebihan minyak pelumas dari cetakan
6. Buatlah kedap air pada bidang kontak bagian luar antara cetakan dan dasar plat cetakan dengan menggunakan paraffin yang telah dicairkan

3.8.2 Komposisi Mortar

1. Perbandingan bahan kering adalah 1 bagian berat semen dengan 2,75 bagian berat pasir standar.
2. Faktor air semen adalah 0,485 untuk semua jenis semen portland, sedangkan untuk semen portland pozzoland ditentukan dengan pengujian meja alir hingga diperoleh aliran / mortar $110 \pm 5\%$ atau 208 – 218 mm (IK/5062/131)
3. Jumlah bahan-bahan yang dicampur dalam satu kali pengerjaan atau adukan untuk membuat 6 dan 9 benda uji adalah sebagai berikut :
 - Semen Portland :

Tabel 3.2. Jumlah bahan campuran mortar semen Portland

Bahan-bahan	Banyaknya benda uji	
	6 Buah	9 Buah
Semen , gram	500	740
Pasir , gram	1375	2035
Air , ml	242	359

- Semen Portland Pozzoland :

Tabel 3.3. Jumlah bahan campuran mortar semen Portland pozzoland

Bahan-bahan	Banyaknya benda uji	
	6 Buah	9 Buah
Semen , gram	500	740
Pasir , gram	1375	2035
Air , ml	Ditentukan oleh pengujian meja alir sehingga diperoleh aliran mortar : $110 \pm \%$	

3.8.3 Penyiapan Adukan Mortar Untuk Pengujian Semen Portland:

1. Timbang contoh bahan yang ditentukan sebelumnya.
2. Siapkan air adukan sebanyak 359 ml untuk 9 buah benda uji, atau 242 ml untuk 6 buah benda uji.
3. Siapkan mesin pengaduk dan coba lebih dulu.
4. Tuangkan air adukan ke dalam mangkok mesin pengaduk.
5. Masukkan contoh semen ke dalam mangkok mesin pengaduk.
6. Jalankan mesin pengaduk pada kecepatan rendah (140 ± 5 rpm) selama 30 detik.
7. Setelah 30 detik mesin pengaduk tetap berjalan, masukkan pasir perlahan-lahan dalam waktu 30 detik.
8. Matikan mesin pengaduk dan pindahkan pada kecepatan sedang (285 ± 10 rpm), kemudian jalankan selama 30 detik.
9. Hentikan mesin pengaduk dan diamkan selama 90 detik.
10. Segera pada 15 detik pertama turunkan mortar yang menempel pada dinding mangkok dengan skrapers plastik , segera tutup mangkok.

11. Setelah 90 detik buka tutup mangkok dan jalankan alat pengaduk pada kecepatan sedang ($285 \pm 10\text{rpm}$) selama 60 detik.

3.8.4 Penyiapan Adukan Mortar untuk Pengujian Semen Portland Pozzoland :

1. Lakukan penyiapan adukan mortar seperti butir 3.6.1.3.
2. Segera setelah pengadukan selesai, ambil mortar dan masukkan ke dalam cetakan alir kira-kira separuh cetakan dan rojok dengan alat perojok sebanyak 20 kali, isi kembali sampai penuh dan rojok sebanyak 20 kali.
3. Potong kelebihan mortar dan ratakan permukaannya dengan mistar atau cetok, dan bersihkan meja alir.
4. Angkat cetakan alir dan segera “ON” kan meja alir (lakukan 25 kali ketukan atau jatuhan dengan ketinggian meja alir 13 mm).
5. Ukur dengan mistar diameter mortar dari empat diagonal dan rata-ratanya sebagai hasil pengujian aliran mortar.
6. Segera kembalikan mortar ke dalam mangkok dan aduk kembali selama 15 detik.
7. Apabila uji aliran mortar tidak terpenuhi ($208 - 218\text{mm}$), buatlah beberapa kali pengujian dengan variasi jumlah air sampai mencapai $110 \pm 5\%$ atau $208 - 218\text{ mm}$.

3.8.5 Pencetakan Benda Uji

1. Siapkan cetakan yang telah dilapisi parafin atau minyak seperti butir 3.6.1. Pencetakan benda uji dimulai paling lambat 2,5 menit setelah selesai pengadukan.
2. Tuangkan adukan ke dalam cetakan, pada tahap pertama kira-kira separuh cetakan.
3. Rojoh sebanyak 32 kali dalam waktu kira-kira 10 detik, dengan urutan rojohan seperti gambar.
4. Tuangkan kembali sisa adukan mortar ke dalam cetakan hingga penuh dan rojoh kembali seperti pada tahap pertama.

5. Pada perojohan tahap kedua, adukan mortar yang keluar dari cetakan dimasukkan kembali (pada setiap 8 kali perojohan).
6. Ratakan mortar sampai permukaannya rata dengan permukaan cetakan.

3.8.6 Penyimpanan Benda Uji

1. Simpan benda uji didalam ruang lembab selama 20 – 24 jam. Masing-masing benda uji diberi tanda atau kode.
2. Keluarkan benda uji dari ruang lembab, kemudian lepaskan benda uji dari cetakan.
3. Rendam benda uji dalam bak rendaman yang tidak berkarat. Air rendaman harus selalu bersih dan menggunakan air kapur jenuh.

3.9 Beton

Dalam penelitian beton serbuk reaktif, material yang dipakai merupakan pasir dan kerikil pada umumnya agar dapat diaplikasikan di lapangan. Komposisi campuran cementitious memakai hasil terbaik dari pengujian mortar, yaitu sampel dengan nama D2. Ukuran cetakan rencana beton adalah 10x20 cm dengan ukuran silinder.

Dalam penelitian RPC menggunakan 2 macam variabel bebas yaitu, komposisi fiber dan superplasticizer dengan w/c yang berbeda dari mortar yaitu 0.23 mengingat keperluan minimal air dalam reaksi diawal dan berdasar jurnal pada umumnya.

Tabel 3.4. Penamaan sampel benda uji beton

[illegible]

Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan Bahan, dan memastikan kondisi bahan dan alat sesuai dengan yang direncanakan
2. Timbang bahan sesuai perencanaan
3. Mencampur Semen, Silika fume dengan Pasir hingga seragam.
4. Mencampur air dan superplasticizer hingga seragam
5. Memasukkan campuran yang sudah seragam kedalam molen
6. Memasukkan air yang sudah direncanakan ke dalam molen
7. Hidupkan molen
8. Setelah ± 5 menit, campurkan pasir, dan disusul oleh kerikil
9. Setelah ± 5 menit, campurkan Steel Fiber ke dalam campuran
10. Setelah ± 5 menit (hingga campuran seragam), tuang campuran benda uji ke bak kosong
11. Masukkan campuran benda uji kedalam cetakan menggunakan cetok dengan menjadi 3layer dan dirojok ± 25 kali per layer
12. Diamkan hingga proses setting selesai dan beton mulai mengeras
13. Lepas beton dari cetakan silinder dan pemberian label nama dengan spidol
14. Masukkan benda uji kedalam bak air besar, sehingga proses curing dapat berjalan
15. Tes Beton sesuai dengan umur yang direncanakan

3.10 Jenis Pengetesan

3.10.1 Tes Kuat Tekan Beton

- Ruang Lingkup.

Cara pengujian ini meliputi penentuan kekuatan tekan benda uji beton keras.

- Standar Rujukan.
ASTM C39 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- Persiapan Contoh.
 1. Benda uji silinder :
 - Beda pengukuran diameter satu dengan yang lain dari benda uji yang sama, tidak boleh lebih besar 2 %.
 - Permukaan harus ditutup (capping) sesuai IK/5063/015
 - Untuk menghitung luas penampang, gunakan rata-2 dari 2 diameter yang diukur pada sudut yang tepat dan mendekati 0,25mm
 - Penyimpangan dari sumbu tegak lurus tidak boleh lebih besar $0,5^\circ$ ($\pm 3\text{mm}$ dalam 300mm)
 2. Benda uji kubus :
 - Saling tegak lurus antara sisi-sisinya
 - Gunakan permukaan yang rata dan halus untuk bagian yang mendapat tekanan.
 3. Benda uji yang dirawat dalam kelembaban, harus dijaga tetap lembab sampai saat pengujian.
 4. Toleransi waktu umur pengujian :

Tabel 3.5. Tabel Toleransi waktu umur pengujian

Umur pengujian	Toleransi yang diijinkan
24 jam	$\pm 0,5$ jam atau 2,1 %
3 hari	± 2 jam atau 2,8 %
7 hari	± 6 jam atau 3,6 %
28 hari	± 20 jam atau 3,0 %
90 hari	± 2 hari atau 2,2 %

•

- Peralatan.
 1. Mesin tekan, mempunyai kapasitas dan kemampuan yang cukup dan terkalibrasi. Pembebanan secara kontinyu dan pelan-pelan tanpa kejutan.
 2. Alat pengukur dimensi benda uji.
 3. Pelindung, sebagai pelindung saat pengujian benda uji silinder beton mutu tinggi dimana saat runtuh pecahnya hebat.
- Prosedur
 1. Bersihkan landasan mesin tekan dan permukaan benda uji
 2. Tepatkan benda uji pada sumbu landasan mesin tekan
 3. Pembebanan secara kontinyu tanpa kejutan dalam rentang 20-50psi/detik
 4. Pengujian sampai benda uji runtuh, catat sebagai beban maksimum
- Perhitungan .

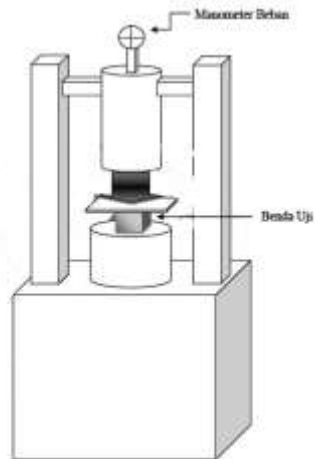
$$\text{Kuat Tekan} = \text{Beban maksimum} / \text{Luas penampang}$$
- Koreksi kuat tekan untuk benda uji silinder dimana ratio panjang dan diameter (L/D) lebih kecil 1,8 :

Tabel 3.6. Koreksi Kuat Tekan untuk benda uji silinder

L / D	1,75	1,5	1,25	1,0
Faktor	0,98	0,96	0,93	0,87

Tabel 3.7. Standar deviasi kontrol sampel normal dan kovarian menurut SNI 03-06813-2002 dan ACI Commite 214

Standart Deviasi (Mpa)		Kovarian (%)	
Kelas			
Lapangan	Laboratorium	Lapangan	Laboratorium
<2.81	<1.41	<5.00	<3.00
2.81-3.52	1.41-1.76	5.00-10.00	3.00-5.00
3.52-4.22	1.76-2.11	10.00-15.00	5.00-7.00
4.22-4.92	2.11-2.46	15.00-20.00	7.00-10.00
>4.92	>2.46	>20.00	>10.00



Gambar 3.16. Alat uji kuat tekan (UTM)

3.10.2 Tes Berat Jenis, dan Penyerapan Agregat Kasar

- Ruang Lingkup
Pengujian ini meliputi penentuan berat jenis rata-rata butiran (tidak termasuk rongga diantara butiran) , berat jenis relatif dan penyerapan agregat kasar.
- Standar Rujukan
ASTM C127 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate
- Persiapan Contoh
 1. Contoh uji dari hasil pengurangan agregat
 2. Buang bagian lolos ayakan 4,75 mm (#4), dan cuci untuk menghilangkan debu atau bahan lainnya yang melapisi agregat. Jika banyak mengandung agregat halus gunakan ayakan 2,36mm (# 8) dan buang bagian yang lolos
 3. Tabel berat contoh uji :

Tabel 3.8. Berat contoh uji agregat kasar

Ukuran nominal maksimum	Berat minimum (kg)
1/2" (12,5 mm)	2
3/4 " (19,0 mm)	3
1" (25,0 mm)	4
1 1/2" (37,5 mm)	5
2" (50,0 mm)	8

- Peralatan
 1. Timbangan, dengan ketelitian 0,05 % dari beban uji atau pembacaan 0,5gram
 2. Keranjang kawat, dengan kisi-kisi 3,35 mm (#6) atau lebih halus, kapasitas 4-7 liter untuk ukuran butiran maksimum 37,5mm
 3. Tangki air.
 4. Ayakan 4,75 mm (#4) atau ukuran lain yang diperlukan
 5. Oven

- Prosedur
 1. Siapkan contoh agregat dan keringkan pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ sampai beratnya konstan
 2. Dinginkan pada suhu ruang selama 1-3jam untuk ukuran maks.37,5mm, untuk yang lebih besar lebih lama
 3. Rendam dalam air selama 24 ± 4 jam
 4. Ambil dan gulung-gulung dalam kain penyerap, untuk butiran besar dilap satu per satu sampai lapisan air hilang
 5. Tutupi wadah untuk menghindari penguapan
 6. Timbang benda uji diudara (B)
 7. Timbang benda uji dalam air (C) pada temperatur air $23 \pm 2^\circ\text{C}$, guncang-guncang keranjang kawat selama perendaman untuk membuang gelembung udara
 8. Keringkan pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ sampai beratnya konstan
 9. Dinginkan dan timbang beratnya (A)
- Perhitungan

1. Berat Jenis Relatif (spesific gravity) :

- BJ kering oven $= A / (B - C)$
- BJ ssd $= B / (B - C)$
- BJ nyata $= A / (A - C)$

2. Penyerapan

- % Penyerapan $= [(B - A) / A] \times 100$

dimana :

A = Berat contoh uji kering oven diudara, gram

B = Berat contoh uji SSD diudara, gram

C = Berat contoh uji dalam air, gram

3.10.3 Tes Berat Jenis, dan Penyerapan Agregat Halus

- Ruang Lingkup

Pengujian ini meliputi penentuan berat jenis rata-rata (tidak termasuk rongga diantara butiran), berat jenis relatif dan penyerapan agregat halus

- Standar Rujukan
ASTM C128 : Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- Persiapan Contoh
Contoh uji dari hasil pengurangan agregat, sebanyak ± 1 kg.
- Peralatan
 1. Timbangan, dengan ketelitian 0,1 % dari beban uji, atau 0,1 gram
 2. Pycnometer, dengan kapasitas volume 500 ml
 3. Cetakan, kerucut terpotong dari logam dengan dimensi \varnothing atas 40 ± 3 mm, \varnothing bawah 90 ± 3 mm, tinggi 75 ± 3 mm dan tebal minimum 0,8 mm
 4. Perojok, dengan berat 340 ± 15 gram, diameter penampang bawah 25 ± 3 mm
 5. Oven
- Prosedur
 1. Contoh agregat
 2. Keringkan pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya konstan
 3. Dinginkan dan rendam dalam air atau ditambah air paling sedikit 6% kadar air dan biarkan selama 24 ± 4 jam
 4. Buang airnya, sebarkan ditempat yang rata, bersih dan tidak menyerap air. Jaga jangan sampai kehilangan butiran yang halus
 5. Angin-anginkan dan aduk-aduk atau aliri dengan udara hangat agar air yang melapisi butiran menguap sampai kondisi SSD
 6. Periksa apakah sudah kondisi ssd :
 - Isikan kedalam cetakan sampai meluber

- Rojok dengan berat sendiri (jatuh bebas) dari ketinggian 5mm diatas permukaan agregat. Setelah setiap rojokan, isi lagi dan ratakan kemudian rojok kembali.
 - Ratakan dan bersihkan sisa pasir disekitar cetakan, kemudian angkat cetakan tegak lurus keatas.
 - Jika masih membentuk cetakan berarti permukaan butiran masih basah.
 - Jika agregat melorot dengan ringannya atau salah satu sisinya melorot dengan enteng berarti kondisi sudah SSD.
7. Timbang contoh agregat 500 gram
 8. Masukkan kedalam pycnometer dan tambah air $\pm 90\%$ kapasitas
 9. Goyang-goyang selama 15-20 menit sampai gelembung udara keluar semua, tambah air sampai batas dan jaga suhu pycnometer dan isinya $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$
 10. Bersihkan buih dengan mencelupkan kertas tisu atau dengan menambah sedikit isopropyl alcohol
 11. Timbang pycnometer berisi pasir dan air **(C)**
 12. Keluarkan contoh pasir, jangan sampai ada kehilangan butiran
 13. Timbang berat pycnometer berisi air sampai batas pada suhu $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ **(B)**
 14. Keringkan pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya konstan
 15. Dinginkan 1-2 jam dan timbang beratnya **(A)**
- Perhitungan :
 1. Berat Jenis Relatif (specific gravity) :
 - BJ kering oven $= A / (B + S - C)$
 - BJ ssd $= S / (B + S - C)$
 - BJ nyata $= A / (B + A - C)$
 2. Berat Jenis (density):
 - BJ kering oven $= 997,5 A / (B + S - C) \text{ kg/m}^3$
 - BJ ssd $= 997,5 S / (B + S - C) \text{ kg/m}^3$

- BJ nyata $= 997,5 A / (B + A - C) \text{ kg/m}^3$
- 3. Penyerapan
 - % Penyerapan $= [(S - A) / A] \times 100$
 - dimana :
 - A = Berat contoh uji kering oven , gram
 - B = Berat pycnometer berisi air sampai batas, gram
 - C = Berat pycnometer berisi contoh uji dan air sampai batas, gram
 - S = Berat contoh uji ssd, gram

3.10.4 Tes Analisa Ayakan Agregat

- Ruang lingkup
Pengujian ini meliputi penentuan distribusi ukuran butiran dari agregat halus dan kasar dengan menggunakan ayakan.
- Standar Rujukan
ASTM C136 : Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
- Persiapan Contoh
 5. Contoh uji sesuai IK/5169/001
 6. Contoh uji agregat halus setelah dikeringkan , minimum 300 gram
 7. Contoh uji agregat kasar jumlahnya sesuai tabel berikut :

Tabel 3.9. Contoh berat sampel uji agregat kasar

Ukuran butiran maksimum		Berat minimum (kg)
3/8"	9.5 mm	1
1/2"	12.5 mm	2
3/4"	19.0 mm	5
1"	25.0 mm	10
1 1/2"	37.5 mm	15
2"	50.0 mm	20

- Peralatan

1. Timbangan, untuk agregat halus dengan pembacaan 0,1gram dan ketelitian 0,1%, sedangkan untuk agregat kasar dengan pembacaan 0,5gram dan ketelitian 0,1%.
 2. Ayakan agregat halus : 150 μm (#100): 300 μm (#50): 600 μm (#30): 1.18 mm (#16): 2.36 mm (#8): 4.75 mm (#4): 9.5 mm (3/8"): Pan
 3. Ayakan agregat kasar : 9.5 mm (3/8"): 12.5 mm (1/2"): 19.0 mm (3/4"): 25.0 mm (1"): 37.5mm (1 1/2") : 50.0 mm (2"): Pan
 4. Mesing penggetar
 5. Oven
- Prosedur
 1. Contoh agregat
 2. Keringkan dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ sampai beratnya konstan
 3. Dinginkan dan timbang sesuai butir 3
 4. Masukkan kedalam susunan ayakan, ukuran paling besar diatas dan paling bawah pan
 5. Guncang dengan mesin penggetar atau diayak dengan tangan pada periode waktu yang cukup
 6. Timbang bagian yang tertinggal pada setiap ayakan
- Catatan:
1. Periode waktu dianggap cukup, bila pengayakan dilanjutkan dengan cara setiap ayakan dipasang tutup dan pan kemudian dipukul-pukul 25x setiap titik sebanyak 6 titik dengan pergerakan memutar, bagian yang tembus beratnya tidak lebih 1%
 2. Jika selisih jumlah berat akhir dan awal lebih besar dari 0,3%, maka hasil pengujian tersebut tidak dapat diterima.
 3. Untuk agregat campur antara kasar dan halus, bagian yang lolos 4,75mm (# 4) dapat diayak beberapa kali untuk mencegah kelebihan beban pada ayakan.

- Perhitungan
 1. Hitung persentase bagian tertinggal pada tiap-tiap ayakan dengan dasar total berat awal contoh kering
 2. Hitung persentase kumulatif bagian tertinggal dan tembus
 3. Hitung modulus kehalusan = menjumlah angka kumulatif tertinggal dibagi 100. (dari susunan ayakan dimana setiap ayakan ukurannya merupakan 2 kali ukuran ayakan dibawahnya).

3.10.5 Tes Ketahanan Aus Agregat dengan Mesin Los Angeles

- Ruang Lingkup
Pengujian ini meliputi penentuan ketahanan aus dari agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles.
- Standar Rujukan.
ASTM C131 : Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
ASTM C535 : Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- Persiapan Contoh.
 8. Contoh uji diambil dari pengurangan contoh agregat
 9. Contoh uji harus dicuci, dikeringkan dalam suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya konstan dan dipisahkan menurut masing-masing fraksi sesuai tabel .
- Peralatan
 1. Mesin Los Angeles dengan 30-33 rpm
 2. Ayakan.
 3. Timbangan, dengan ketelitian 0,1 % dari beban uji.
 4. Beban, bola besi dengan diameter rata-rata 46,8 mm dan berat masing-masing antara 390-445 gram.
- Prosedur
 1. Siapkan contoh agregat

2. Timbang contoh sesuai tabel (A)
3. Masukkan contoh dan bola besi ke mesin Los Angeles
4. Jalankan mesin Los Angeles sesuai tabel
5. Keluarkan dari mesin dan ayak dengan ayakan 1,70mm (#12)
6. Bagian tertahan ayakan dicuci dan keringkan pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ sampai beratnya konstan
7. Timbang beratnya (B)

- Perhitungan

$$Keausan = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

- Tabel Contoh Uji

Tabel 3.10. Tabel Contoh Uji Keausan Agregat 1

Ukuran Ayakan		Berat masing-masing ukuran, gram		
mm (inci)		Gradasi / Fraksi		
Lolos	Tertahan	1	2	3
75 (3)	63 (2 ½)	2500 ± 50	-	-
63 (2 ½)	50 (2)	2500 ± 50	-	-
50 (2)	37,5 (1 ½)	5000 ± 50	5000 ± 50	-
37,5 (1 ½)	25 (1)	-	5000 ± 25	5000 ± 25
25 (1)	19 (¾)	-	-	5000 ± 25
Jumlah berat agregat		10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50
Jumlah bola-bola		12	12	12
Jumlah putaran mesin		1000	1000	1000

Tabel 3.11. Tabel Contoh Uji Keausan Agregat 2

Ukuran Ayakan mm (inci)		Berat masing-masing ukuran, gram			
		Gradasi / fraksi			
lolos	tertahan	A	B	C	D
37,5 (1 1/2)	25 (1)	1250 ± 25	-	-	-
25 (1)	19 (3/4)	1250 ± 25	-	-	-
19 (3/4)	12,5 (1/2)	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12,5 (½)	9,5 (3/8)	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9,5 (3/8)	6,3 (1/4)	-	-	2500 ± 10	-
6,3 (1/4)	4,75 (#4)	-	-	2500 ± 10	-
4,75 (#4)	2,36 (#8)	-	-	-	5000 ± 10
Jumlah berat fraksi		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Jumlah bola-bola		12	11	8	6
Jumlah putaran mesin		500	500	500	500

3.10.6 Tes Berat Volume Beton

Langkah kerja untuk tes berat volume :

1. Rendam benda uji sesuai dengan umur yang telah ditetapkan. Ambil ketika akan dites.
2. Benda uji dilap dan dikeringkan selama 15 menit.
3. Timbang benda uji, catat beratnya.
4. Kemudian, hitung berat isi benda uji dengan rumus:

$$\rho.m = \frac{B.m}{V}$$

Keterangan :

$\rho.m$ = berat volume (gr/ cm³)

$B.m$ = berat benda uji (gr)

V = volume benda uji (cm³)

3.10.7 Tes XRD (X-Ray Diffraction)

Tujuan dari tes XRD adalah mengetahui senyawa yang terbentuk pada sampel uji. Dilakukan di Laboratorium Research Semen Gresik

1. Menyiapkan sampel material (semen, GGBFS) \pm 1-3 gram
2. Menyalakan mesin XRD dengan menggunakan sinar radioaktif, dan mendapat grafik profil material
3. Profil dibaca dengan program khusus untuk mendapatkan tingkat kereaktifan dan keamorfan sampel

3.10.8 Tes XRF (X-Ray Fluorescence)

Tujuan dari tes XRF adalah mengetahui kandungan kimiapada sampel uji. Dilakukan di Laboratorium Research Semen Gresik. Sampel yang diuji adalah semen dan GGBFS

3.10.9 Tes PSA (Particular Size Analysis)

Tujuan dari tes PSA adalah untuk mengetahui tingkat kehalusan sampel. Tes ini dilakukan pada semen, GGBFS, dan silica fume

3.11 Hasil Penelitian

Setelah semua benda uji sudah dites, maka data pengetesan di olah untuk mendapatkan hasil perbandingan antara

komposisi yang dipakai terhadap tingkat density dan kuat tekan beton. Penyajian hasil penelitian berupa grafik berdasarkan komposisi dan umur beton

3.12 Kesimpulan Penelitian

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka didapat sifat pengaruh tiap variabel dalam campuran beton terhadap besarnya kuat tekan dan density beton. Dari penelitian RPC, didapat komposisi optimal sesuai dengan tujuan utama penelitian yang berdasar pada nilai kuat tekan beton tertinggi dengan simpangan hasil yang paling kecil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

4.1. Umum

Dalam bab ini akan dipaparkan hasil dari seluruh percobaan yang telah dilakukan untuk kemudian dibahas dan ditarik kesimpulan. Hasil percobaan meliputi hasil uji material, hasil uji mortar, dan hasil uji beton. Metode hasil pengujian dan analisa data berupa tabel dan grafik, kemudian akan dilakukan pembahasan dari tiap analisa.

Spesifikasi bahan yang digunakan untuk seluruh percobaan ini antara lain :

1. GGBFS dengan distribusi ukuran partikel sama dengan semen
2. Ordinary Portland Cement (OPC) Type I
3. Silica Fume
4. Serat Baja
5. Agregat Halus dan Agregat Kasar

4.2. Data hasil analisa material serbuk reaktif

Penelitian serbuk reaktif terdiri dari pengujian berat jenis, distribusi ukuran partikel material, XRD, dan XRD dengan menggunakan material berupa GGBFS, OPC, dan silica fume



Gambar 4.1. Pengujian berat jenis material

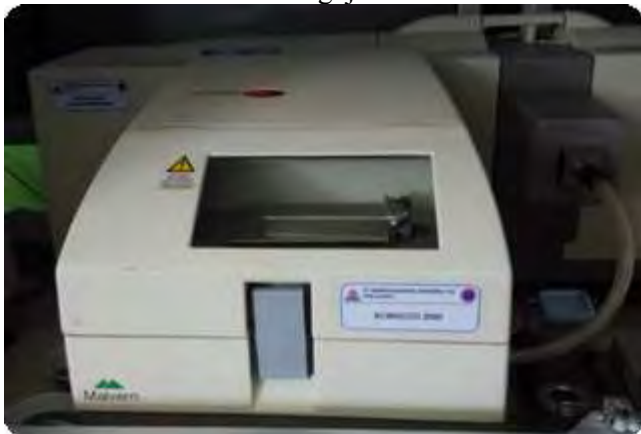


Gambar 4.2. Pengujian berat jenis material

Gambar 4.3. Pengujian XRD material



Gambar 4.4. Pengujian XRD material



Gambar 4.5. Pengujian distribusi ukuran dengan alat PSA

1.2.1 GGBFS

GGBFS atau Ground Granulated Blast Furnace Slag merupakan limbah hasil produksi baja. Material ini didapat dari salah satu pabrik baja di Indonesia. GGBFS memiliki 4

kandungan utama yaitu CaO sebesar 30 hingga 50%, SiO_2 sebesar 28 hingga 38%, Al_2O_3 sebesar 8 hingga 24%, dan terakhir MgO sebesar 1 hingga 18%

Proses awal adalah pengeringan material dengan cara di oven. Setelah kering, maka material di giling hingga halus sampai memiliki distribusi agregat sama dengan semen pada umumnya, yaitu 90 persen material lolos dari ayakan nomor 325. Macam jenis pengetesan GGBFS antara lain PSA, berat jenis, XRF, dan XRD

1.2.1.1 Percobaan Berat Jenis GGBFS

Hasil percobaan berat jenis GGBFS dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Hasil percobaan berat jenis GGBFS

Percobaan no	1	2
Berat GGBFS (gram)	60	60
Volume minyak tanah awal V1 (cc)	0.2	0.3
Volume minyak tanah akhir V2 (cc)	21.4	21.6
Berat jenis (gram/cm^3)	2.83	2.81
Rata-rata (gram/cm^3)	2.82	

Berat jenis rata-rata GGBFS dari dua kali pengetesan sebesar $2.82 \text{ gram}/\text{cm}^3$. Berat jenis GGBFS lebih ringan dibandingkan dengan berat jenis semen OPC pada umumnya yaitu sekitar $3.15 \text{ gram}/\text{cm}^3$. Dengan berat jenis material pengganti semen yang lebih ringan dapat berdampak pada reduksi berat beton pada struktur nantinya

1.2.1.2 Analisa Distribusi Ukuran partikel GGBFS

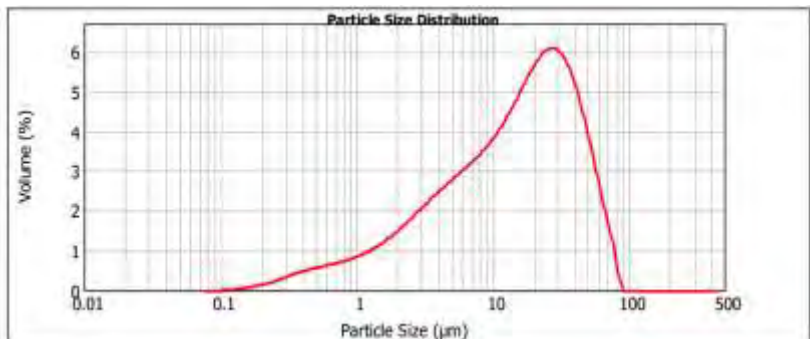
Penggilingan yang dilakukan memiliki dua tahapan, yaitu dari butiran kasar menjadi butiran halus, dan dari butiran halus

menjadi butiran mikro. Alat yang digunakan dalam proses penggilingan adalah pulverizer dan ball mill.

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat kehalusan yang diinginkan adalah 10 menit untuk pulverizer tiap 1kg sampel dan 4jam 7 menit untuk ball mill tiap 3kg sampel. Hasil percobaan dapat dilihat pada tabel 4.2 dan Gambar 4.1

Tabel 4.2.Detail Distribusi partikel GGBFS

Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %
20.000	59.31	56.000	95.17
25.000	67.86	63.000	97.29
32.000	77.64	71.000	98.81
36.000	82.11	75.000	99.33
38.000	84.06	80.000	99.79
40.000	85.85	90.000	100.00
45.000	89.62	100.000	100.00
50.000	92.55	106.000	100.00
53.000	93.97	112.000	100.00



Gambar 4.6. Grafik Log Distribusi partikel GGBFS

Dari hasil analisa diatas, didapat bahwa ukuran partikel GGBFS sudah sama dengan ukuran partikel semen OPC

1.2.1.3 Analisa XRF GGBFS

Analisa XRF dilakukan pada sampel GGBFS yang memiliki tingkat kehalusan lolos 90% ayakan nomor 325 dengan durasi 4jam 7 menit per 3 kg. Hasil dari XRF dapat dilihat pada Tabel 4.3

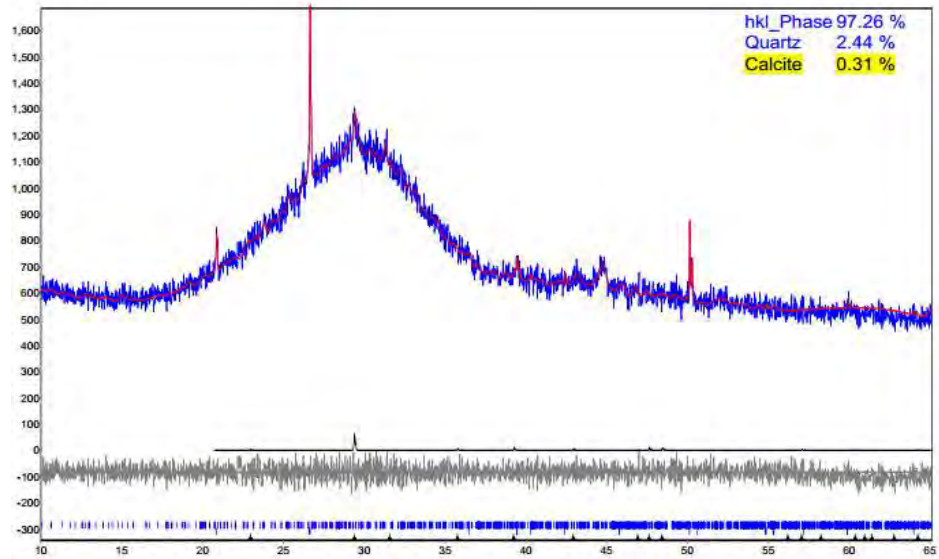
Tabel 4.3.Komposisi kimia GGBFS (% terhadap berat)

Formula	Concentration
CaO	42.44%
SiO ₂	34.84%
Al ₂ O ₃	16.62%
MgO	5.11%
SO ₃	1.88%
Fe ₂ O ₃	0.93%
TiO ₂	0.52%
K ₂ O	0.48%
MnO	0.32%
Na ₂ O	0.27%
BaO	0.10%
SrO	0.06%
ZrO ₂	0.03%
Cl	0.01%
Cr ₂ O ₃	0.01%
Rb ₂ O	13 PPM

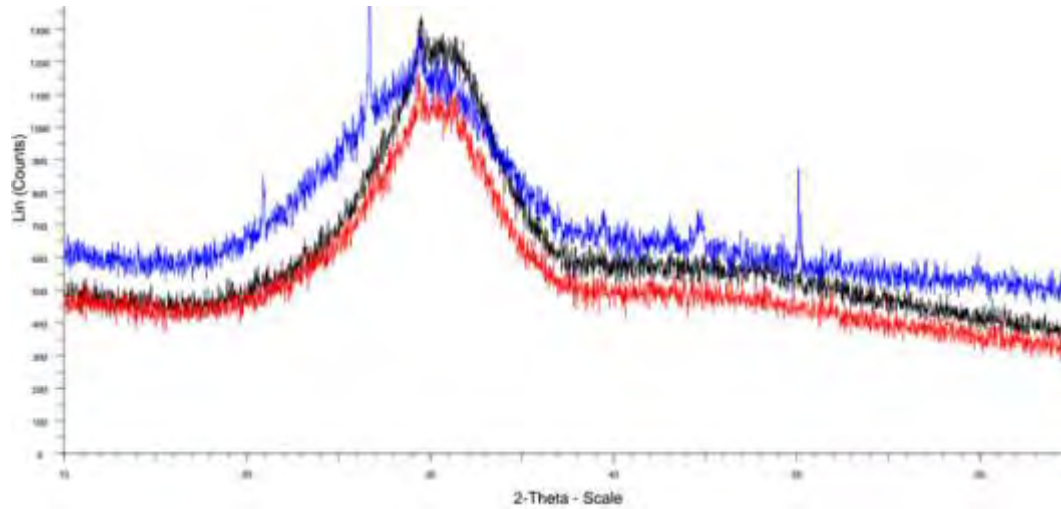
Dari hasil analisa didapat kesimpulan bahwa sampel GGBFS memiliki kandungan besi yang sangat rendah yaitu sekitar 0.93%, dan 4 unsur utama yaitu CaO, SiO₂, Al₂O₃, dan MgO masuk dalam area GGBFS pada umumnya.

1.2.1.4 Analisa XRD GGBFS

Analisa XRD pada GGBFS dilakukan dengan alat Herzog HSM 100 terhadap sampel GGBFS yang akan diaplikasikan pada campuran benda uji kedepannya. XRD bertujuan untuk mendapatkan informasi sifat fisika material. Hasil XRD GGBFS dapat dilihat di Gambar 4.2, sedangkan untuk perbandingan dengan GGBFS lainnya dapat dilihat di Gambar 4.3



Gambar 4.7. Hasil XRD GGBFS (% terhadap berat)



Gambar 4.8. Perbandingan antara GGBFS benda uji dan GGBFS lokasi lainnya

Dari gambar 4.1 di dapat bahwa sampel GGBFS memiliki bentuk fisika yang sudah hancur, atau dikatakan amorf sehingga partikel kristal sudah tidak ada dan kandungan kimia tidak dapat dibaca dengan analisa XRD. Tingkat amorf material sebesar 97,26% sehingga sudah sangat baik untuk campuran sampel pada umumnya

Dari Gambar 4.2, terdapat 3 macam GGBFS yang sudah di test, yaitu GGBFS dari PT. Krakatau Steel berwarna hitam, GGBFS dari Universitas Sumitomo Jepang, dan GGBFS sampel penelitian berwarna biru. Dari ketiga GGBFS dapat dilihat bahwa bentuk kristal dari semua sampel relatif sama.

1.2.2 Semen OPC

Penelitian menggunakan semen tipe 1 dalam hal ini, adalah semen OPC PT. Semen Gresik dikarenakan kualitas semen tipe 1 yang memiliki kandungan murni semen hampir 98 persen dan trash sangat kecil. Pemakaian semen tipe 1 ini berdampak baik untuk beton yang memerlukan strength tinggi sebelum 28hari.

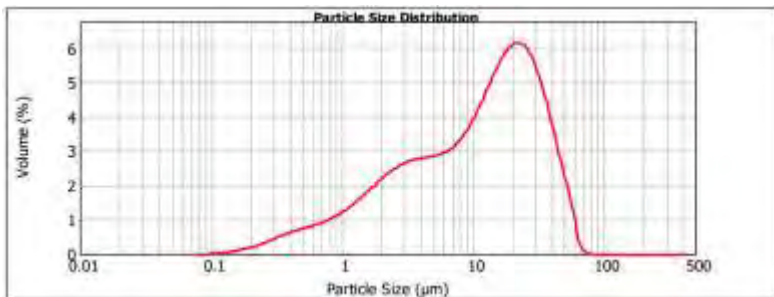
Semen OPC didapatkan dari Silo 9 PT. Semen Gresik di kota Tuban secara langsung. Hal ini dilakukan untuk menjaga dan mendapatkan kualitas barang yang diinginkan. Analisa Semen yang dilakukan antara lain berat jenis dan XRF.

1.2.2.1 Analisa distribusi ukuran partikel semen OPC

Analisa semen OPC dilakukan di laboratorium PT. Semen Indonesia sesaat setelah mengambil material semen langsung dari silo hasil produksi. Analisa material dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.4.Detail Distribusi partikel semen OPC

Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %
20.000	68.25	56.000	99.00
25.000	77.20	63.000	99.84
32.000	86.42	71.000	99.98
36.000	90.18	75.000	100.00
38.000	91.73	80.000	100.00
40.000	93.08	90.000	100.00
45.000	95.73	100.000	100.00
50.000	97.55	106.000	100.00
53.000	98.35	112.000	100.00



Gambar 4.9. Grafik Log Distribusi partikel semen OPC

1.2.2.2 Percobaan berat jenis semen OPC

Hasil percobaan berat jenis Semen OPC dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.5. Hasil percobaan berat jenis Semen OPC

Percobaan no	1	2
Berat Semen (gram)	60	60
Volume minyak tanah awal V1 (cc)	0.3	0.3
Volume minyak tanah akhir V2 (cc)	19.4	19.3
Berat jenis (gram/cm^3)	3.141	3.158
Rata-rata (gram/cm^3)	3.15	

Berat jenis rata-rata semen OPC dari dua kali pengetesan sebesar 3.15 gram/cm^3 . Berat jenis semen ini masuk dalam syarat SNI 15-2049-2004. Berat jenis semen OPC dapat dikatakan sangat baik, hal ini bias dikarenakan oleh material yang baru, dan belum terkontak oleh udara

1.2.2.3 Analisa XRF semen OPC

Analisa XRF dilakukan pada sampel semen OPC yang memiliki tingkat kehalusan lolos 90% ayakan nomor 325 dan berasal dari silo 9 PT. Semen Gresik, Tbk di kota Tuban. Hasil dari XRF dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.6. Komposisi kimia Semen OPC (% terhadap berat)

Formula	Concentration
SiO ₂	20.22%
Al ₂ O ₃	6.3%
Fe ₂ O ₃	3.4%
CaO	64.43%
MgO	1.76%
K ₂ O	0.45%
Na ₂ O	0.18%
So ₃	1.87%
Cl	0.06%
FCaO	0.97%

Secara umum, semen OPC memiliki 4 oksida utama dalam penyusunnya, yaitu kapur atau CaO (60-65%), silika atau

SiO₂ (20-25%), oksida besi dan alumina atau Al₂O₃ dan Fe₂O₃ dengan total kandungan (7-12%).

Dari hasil analisa didapat bahwa sampel OPC memiliki kandungan CaO (64.43%), SiO₂ (20.22%), oksida besi dan alumina atau Al₂O₃ dan Fe₂O₃ dengan total kandungan (9.7%).

Kandungan semen OPC hasil analisa XRF sudah masuk dalam kriteria semen OPC Sstandar Indonesia. Dan material semen sudah dapat dikatakan baik

1.2.3 Silica fume

Silica fume penelitian RPC didapat dari PT. BASF, dengan nama produksi Master Life SF100 atau sering disebut Rheomac SF 100. Pengujian yang dilakukan hanya pada berat jenis material

1.2.3.1 Analisa distribusi ukuran partikel silica fume

Material silica fume tidak melalui proses penggilingan. Hasil ayakan material silica fume dengan mesin PSA dapat dilihat dibawah ini

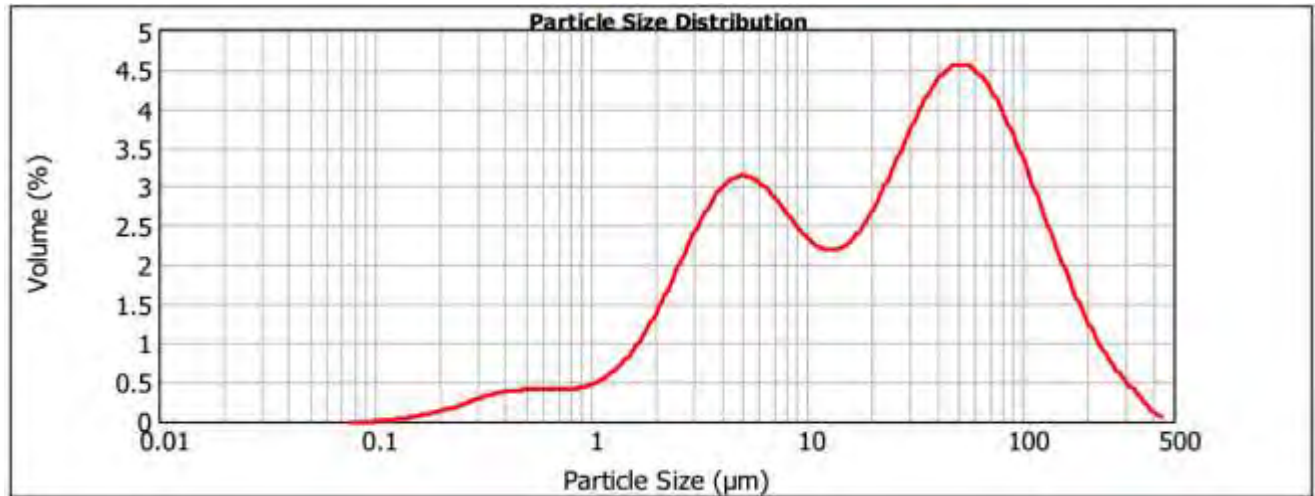
Tabel 4.7.Detail Distribusi partikel silica fume

Size (μm)	Vol Under %
20.000	45.35
25.000	49.63
32.000	55.37
36.000	58.47
38.000	59.96
40.000	61.40
45.000	64.82
50.000	67.94
53.000	69.68

Size (μm)	Vol Under %
56.000	71.32
63.000	74.78
71.000	78.18
75.000	79.68
80.000	81.40
90.000	84.35
100.000	86.77
106.000	88.01
112.000	89.12

Size (μm)	Vol Under %
125.000	91.15
140.000	92.98
150.000	93.96
160.000	94.79
180.000	96.11
200.000	97.07
212.000	97.53
224.000	97.92
250.000	98.57

Size (μm)	Vol Under %
280.000	99.09
300.000	99.34
315.000	99.49
355.000	99.78
400.000	99.93
425.000	99.97
450.000	100.00
500.000	100.00
560.000	100.00



Gambar 4.10. Grafik Log Distribusi partikel silica fume

1.2.3.2 Analisa berat jenis silica fume

Hasil percobaan berat jenis silica fume dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.8. Hasil percobaan berat jenis silica fume

Percobaan no	1	2
Berat silica fume (gram)	60	60
Volume minyak tanah awal V1 (cc)	0.2	0.3
Volume minyak tanah akhir V2 (cc)	28.5	28.8
Berat jenis (gram/cm ³)	2.12	2.105
Rata-rata (gram/cm ³)	2.11	

Berat jenis rata-rata silica fume dari dua kali pengetesan sebesar 2.11 gram/cm³. Berat jenis silica fume lebih rendah ketimbang yang tertera di brosur, yaitu sebesar 2.2 gram/cm³

4.3. Analisa material agregat halus dan kasar

Analisa material agregat sangat penting setelah penelitian tahap satu selesai, atau tahap penelitian mortar telah mendapat kesimpulan.

Analisa material agregat kasar dan halus perlu dilakukan untuk proses desain rencana pembuatan beton serbuk reaktif. Hal ini sangat dibutuhkan karena berat jenis dan kualitas agregat masih belum diketahui.

Agregat halus maupun agregat kasar yang dipakai berasal dari kota Lumajang, dengan sifat fisik agregat berwarna gelap dan relatif sedikit lebih berat ketimbang agregat lainnya.

1.3.1 Agregat halus pasir Lumajang

Analisa agregat halus yang dilakukan ada dua, yaitu berat jenis serta penyerapan, dan zona ayakan pasir

1.3.1.1 Analisa berat jenis agregat halus

Analisa berat jenis agregat dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8

Tabel 4.9. Input data analisa berat jenis pasir

Uraian	Nilai 1(gram)	Nilai 1(gram)
Berat contoh uji ssd (S)	500	500
Berat pycnometer berisi contoh uji dan air sampai batas, gram (C)	1012.3	1017.5
Berat contoh uji kering oven, gram (A)	494.1	496.3
Berat pycnometer berisi air sampai batas, gram (B)	696.3	699.1

Tabel 4.10. Perhitungan data analisa pasir

Uraian	Nilai 1 (gram/cm ³)	Nilai 2 (gram/cm ³)
Berat Jenis Relatif (specific gravity)		
a. BJ Kering Oven	$\frac{494.1}{(696.3 + 500 - 1012.3)} = 2.69$	2.73
b. BJ SSD	$\frac{500}{(696.3 + 500 - 1012.3)} = 2.72$	2.75
c. BJ Nyata	$\frac{494.1}{(696.3 + 494.1 - 1012.3)} = 2.77$	2.79
Penyerapan air	$\frac{(500 - 494.1)}{500} \times 100 = 1.19$	0.75

Analisa:

Berat jenis (specific gravity) pasir lumajang yang didapat dari analisa adalah 2.72 gr/cm³. Agregat halus dapat dikategorikan bagus untuk pembuatan beton. Selain nilai berat

jenis yang baik, analisa penyerapan air juga baik dengan nilai 1.19%

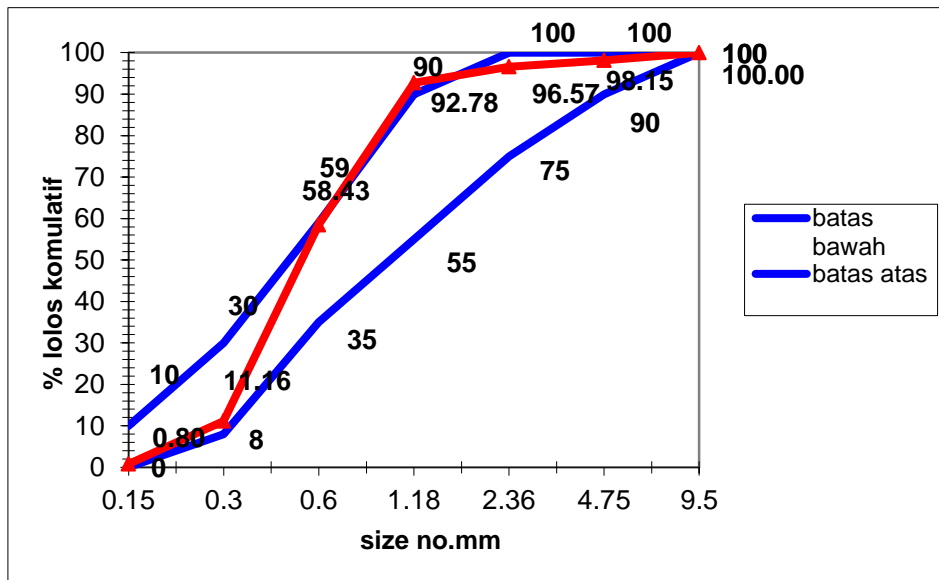
1.3.1.2 Analisa ayakan agregat halus

Agregat halus yang dipakai adalah pasir lumajang. Warna dari agregat halus ini adalah lebih gelap dibanding dengan pasir pada umumnya.

Perencanaan zona pasir untuk penelitian adalah zona 2. Analisa dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.11. Analisa gradasi ayakan pasir

Ukuran ayakan			Tinggal pada ayakan		% Komulatif		Spesifikasi	
No	mm	Inchi	gram	%	% tinggal	% lolos	Gradasi zone 2	
3/8	9.5		0	0.00	0.00	100.00	100	100
4	4.75		14.4	1.85	1.85	98.15	90	100
8	2.36		12.3	1.58	3.43	96.57	75	100
16	1.18		29.5	3.79	7.22	92.78	55	90
30	0.6		267.2	34.35	41.57	58.43	35	59
50	0.3		367.7	47.27	88.84	11.16	8	30
100	0.15		80.6	10.36	99.20	0.80	0	10
pan			6.2	0.80	100.00	0.00		
jumlah			777.9	100				



Gambar 4.11. Gradasi ayakan pasir

Analisa:

Zona gradasi pasir lumajang yang didapat dari analisa masih dapat dikatakan zona dua sesuai dengan rencana. Penelitian mengambil zona dua dikarenakan untuk mencegah terjadinya susut yang besar meskipun penelitian tidak meninjau susut beton.

1.3.2 Kerikil Lumajang

Analisa agregat kasar yang dilakukan ada dua, yaitu berat jenis serta penyerapan, dan tingkat keausan agregat kasar

1.3.2.1 Analisa berat jenis agregat kasar

Hasil analisa berat jenis agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11

Tabel 4.12. Input data analisa berat jenis kerikil

Uraian	Nilai 1 (gram)	Nilai 1 (gram)
Berat contoh SSD di udara (B)	438.8	408.2
Berat contoh SSD di dalam air (C)	283.5	262.2
Berat contoh kering oven (A)	434.7	403.7

Tabel 4.13. Perhitungan data analisa berat jenis kerikil

Uraian	Nilai 1 (gram/cm ³)	Nilai 2 (gram/cm ³)
Berat Jenis Relatif (specific gravity)		
a. BJ Kering Oven	$\frac{434.7}{(438.8 - 238.5)} = 2.8$	2.77
b. BJ SSD	$\frac{500}{(438.8 - 238.5)} = 2.83$	2.8
c. BJ Nyata	$\frac{494.1}{(434.7 - 238.5)} = 2.88$	2.85
Penyerapan air	$\frac{(438.8 - 434.7)}{434.7} \times 100 = 0.94$	1.11

Analisa

Kerikil lumajang berwarna gelap. Dari dua kali analisa berat jenis yang dilakukan didapat berat jenis dengan nilai rata-rata 2.82 gr/cm³.

1.3.2.2 Analisa keausan agregat kasar

Hasil analisa berat jenis agregat kasar dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.14. Analisa keausan agregat kasar

URAIAN		NILAI (gram)
Lolos pada ayakan	Tertahan di ayakan	
75 mm (3")	63 mm (2 ¹ / ₂ ")	
63 mm (2 ¹ / ₂ ")	50 mm (2")	
50 mm (2")	37,5 mm (1 ¹ / ₂ ")	
37,5 mm (1 ¹ / ₂ ")	25 mm (1")	
25 mm (1")	19 mm (³ / ₄ ")	
19 mm (³ / ₄ ")	12,5 mm (¹ / ₂ ")	2502.8
12,5 mm (¹ / ₂ ")	9,5 mm (³ / ₈ ")	2503.6
9,5 mm (³ / ₈ ")	6,3 mm (¹ / ₄ ")	
6,3 mm (¹ / ₄ ")	4,75 mm (#4)	
4,75 mm (#4)	2,36 mm (#8)	
Jumlah berat awal		5006.4
Berat contoh setelah di abrasi dengan mesin los angeles yang tertinggal di atas ayakan 1,7 mm (#12)		4225.1
Perhitungan : $Keausan = \frac{A - B}{A} \times 100\%$		15.61

Analisa:

Dari analisa keausan yang sudah dilakukan, didapat bahwa agregat kasar memiliki tingkat kekerasan yang sangat baik. Hal ini dapat dilihat dari nilai keausan yaitu sebesar 15.61%

yang jauh lebih kecil ketimbang nilai abrasi kerikil umumnya yaitu 20-25%

4.4. Mortar serbuk reaktif

Penelitian mortar serbuk reaktif dilakukan untuk mendapatkan campuran binder paling baik. Mortar menggunakan pasir ottawa agar tidak ada pengaruh bentuk pasir terhadap kuat tekan mortar

Berat total cementisius dari tiap variabel sebesar 740 gram, sedangkan pasir ottawa sebesar 2035 gram untuk pembuatan tiap 9 benda uji dengan ukuran kubus 5x5x5 cm. Jumlah benda uji tiap variabel adalah 9 buah, sehingga jumlah total kubus yang dibuat sebanyak 135 buah

Penelitian dilakukan dengan menyamakan tingkat flowability tiap campuran tanpa menggunakan superplasticizer, yaitu 18 ± 1 cm di meja alir



Gambar 4.12. Serbuk Reaktif di campur hingga menyatu



Gambar 4.13. Mixing mortar dengan alat mixer



Gambar 4.14. Pengujian besar flow dengan meja alir



Gambar 4.15. Pencetakan mortar

1.4.1 Analisa kebutuhan air pada mortar

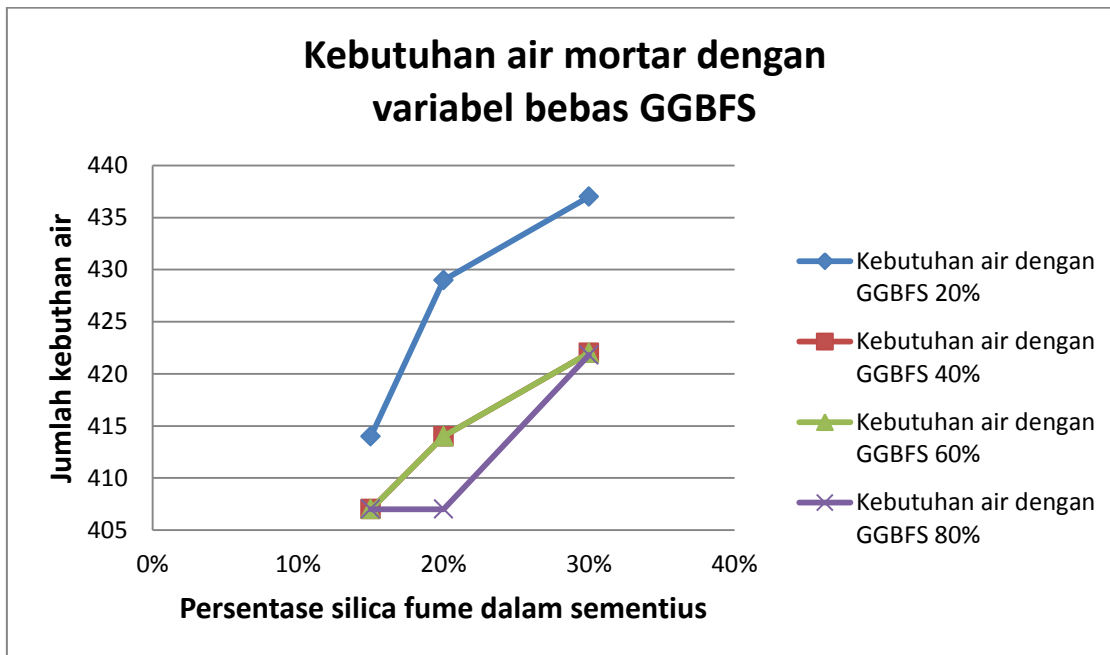
Hasil penelitian kebutuhan air dari tiap variabel berbeda, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.13, dan Tabel 4.14

Tabel 4.15. Perbandingan serbuk reaktif dalam sementisius

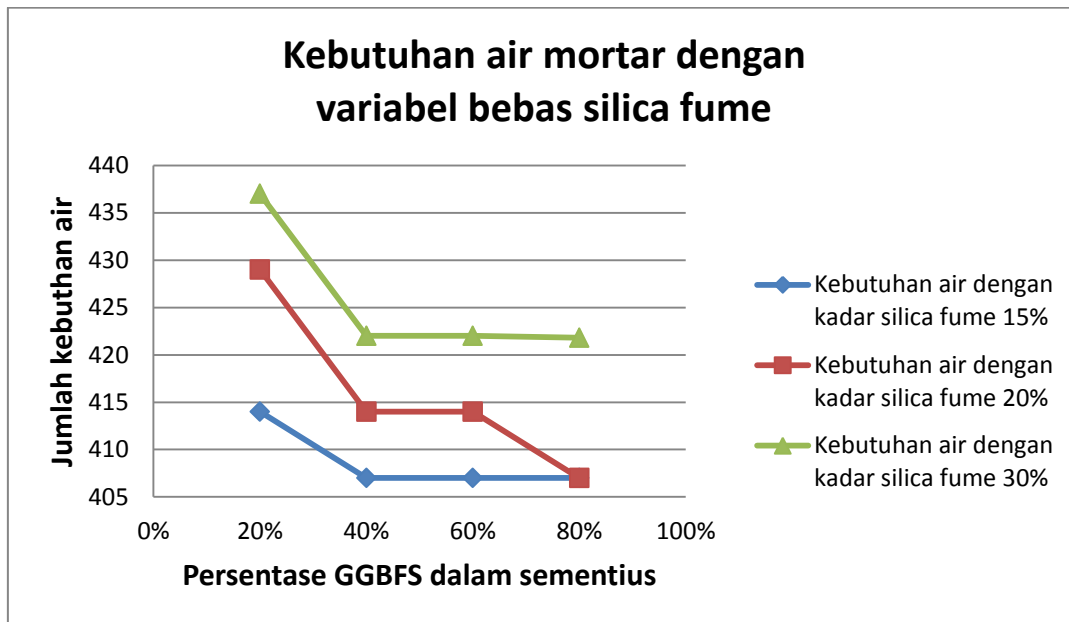
Nama Sampel	Perbandingan		
	Semen	GGBFS	Silica Fume
BLANKO	1	0	0
GGBFS	1	0.25	0
SILICA FUME	1	0	0.25
A1	1	0.2	0.15
A2	1	0.2	0.2
A3	1	0.2	0.3
B1	1	0.4	0.15
B2	1	0.4	0.2
B3	1	0.4	0.3
C1	1	0.6	0.15
C2	1	0.6	0.2
C3	1	0.6	0.3
D1	1	0.8	0.15
D2	1	0.8	0.2
D3	1	0.8	0.3

Tabel 4.16. Kebutuhan air tiap variabel dan nilai flowability mortar

Nama Sampel	Cementitious	Pasir terhadap semen	Air (gram)	w/c	Flow (cm)
BLANKO	1	2.75	358	0.484	18.5
GGBFS	1	2.75	348	0.47	18.5
SILICA FUME	1	2.75	429	0.58	18.4
A1	1	2.75	414	0.56	18.3
A2	1	2.75	429	0.58	18.5
A3	1	2.75	437	0.59	18.7
B1	1	2.75	407	0.55	18.2
B2	1	2.75	414	0.56	18.3
B3	1	2.75	422	0.57	18.7
C1	1	2.75	407	0.55	18.5
C2	1	2.75	414	0.56	18.3
C3	1	2.75	422	0.57	18.3
D1	1	2.75	407	0.55	18.7
D2	1	2.75	407	0.55	18.5
D3	1	2.75	421.8	0.57	18.1



Gambar 4.16. Kebutuhan air dengan variabel bebas GGBFS pada mortar



Gambar 4.17. Kebutuhan air dengan variabel bebas silica fume pada mortar

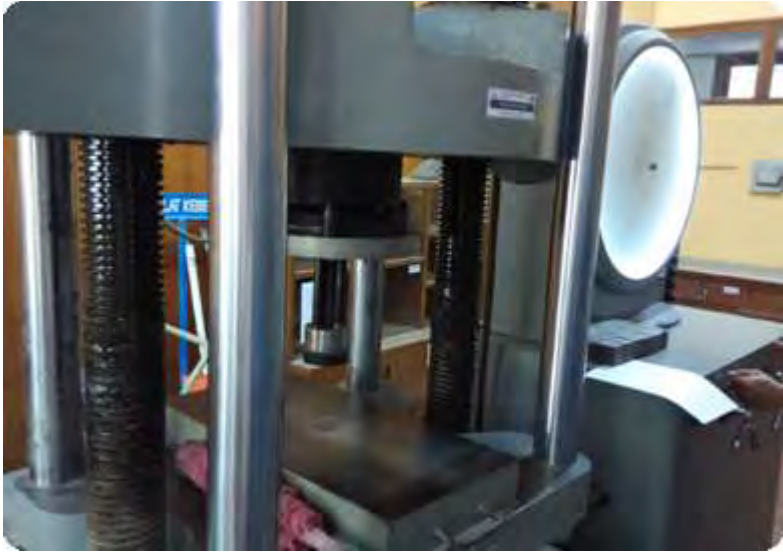
Analisa :

Dari hasil penelitian yang dapat dilihat pada tabel 4.13 dan 4.14, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan air dari dari silica fume jauh lebih banyak ketimbang kebutuhan air di semen dan GGBFS. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.14 , saat kadar silica fume dinaikan maka kebutuhan air juga meningkat, dan sedangkan saat GGBFS di naikan dngan kadar silica fume diturunkan maka kebutuhan air menurun

Sedangkan untuk kebutuhan air GGBFS relatif sama dibandingkan dengan kebutuhan air pada semen. Hal ini dapat dilihat dari dari tabel 4.14, yaitu pada sampel bernama “blanko”, dan “GGBFS” pada saat tidak ada pengaruh dari silica fume.

1.4.2 Analisa kuat tekan mortar

Pengetesan mortar dilakukan pada hari ke 7,14, dan 28 hari dengan alat UTM di lab PT. Semen Indonesia Gresik. Hasil penelitian kuat tekan mortar dapat dilihat pada bawah ini:



Gambar 4.18. Alat kuat tekan mortar



Gambar 4.19. Pengetesan kuat tekan mortar

Tabel 4.17. Kuat tekan mortar 7hari dalam kg

Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (kg)		
	7hari		
	I	II	III
BLANKO	5950	5550	6000
GGBFS	5500	550-	5600
SILICA FUME	5600	5300	5400
A1	6250	6100	5750
A2	5100	5200	5250
A3	4150	4100	3750
B1	5250	4750	5350
B2	4250	4750	5250
B3	5250	4750	5200
C1	5000	5150	5250
C2	4400	4750	5000
C3	4500	4250	4350
D1	5050	5000	4850
D2	5250	5500	5450
D3	4500	4250	4350

Tabel 4.18. Kuat tekan mortar 14 hari dalam kg

Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (kg)		
	14 hari		
	I	II	III
BLANKO	6500	7125	7000
GGBFS	7300	7500	7300
SILICA FUME	7150	7000	7250
A1	7250	7250	7200
A2	6500	5800	6000
A3	4850	5250	5350
B1	5500	6500	6350
B2	6000	5900	5950
B3	6000	5750	5650
C1	6500	6000	6100
C2	6000	5700	5900
C3	6500	6600	6500
D1	7500	7350	7500
D2	7450	7500	7350
D3	6700	6800	6700

Tabel 4.19. Kuat tekan mortar 28 hari dalam kg

Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (kg)		
	28 hari		
	I	II	III
BLANKO	7450	7550	7400
GGBFS	8400	7950	8250
SILICA FUME	8150	7800	8200
A1	7450	7450	7400
A2	6950	6250	6450
A3	5400	5800	5900
B1	5850	6850	6700
B2	6550	6450	6500
B3	6750	6500	6400
C1	6950	6450	6550
C2	6650	6350	6550
C3	7350	7450	7350
D1	7650	7500	7650
D2	7800	7850	7700
D3	7100	7200	7100

Tabel 4.20. Kuat tekan mortar 7hari dalam MPa

Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (MPa)			Standart Deviasi	KONTROL KUALITAS
	7hari				
	I	II	III		
BLANKO	23.8	22.2	24	0.987	Istimewa
GGBFS	22	22	22.4	0.231	Istimewa
SILICA FUME	22.4	21.2	21.6	0.611	Istimewa
A1	25	24.4	23	1.026	Istimewa
A2	20.4	20.8	21	0.306	Istimewa
A3	16.6	16.4	15	0.872	Istimewa
B1	21	19	21.4	1.286	Istimewa
B2	17	19	21	2.000	Baik
B3	21	19	20.8	1.102	Istimewa
C1	20	20.6	21	0.503	Istimewa
C2	17.6	19	20	1.206	Istimewa
C3	18	17	17.4	0.503	Istimewa
D1	20.2	20	19.4	0.416	Istimewa
D2	21	22	21.8	0.529	Istimewa
D3	18	17	17.4	0.503	Istimewa

Tabel 4.21. Kuat tekan mortar 14 hari dalam MPa

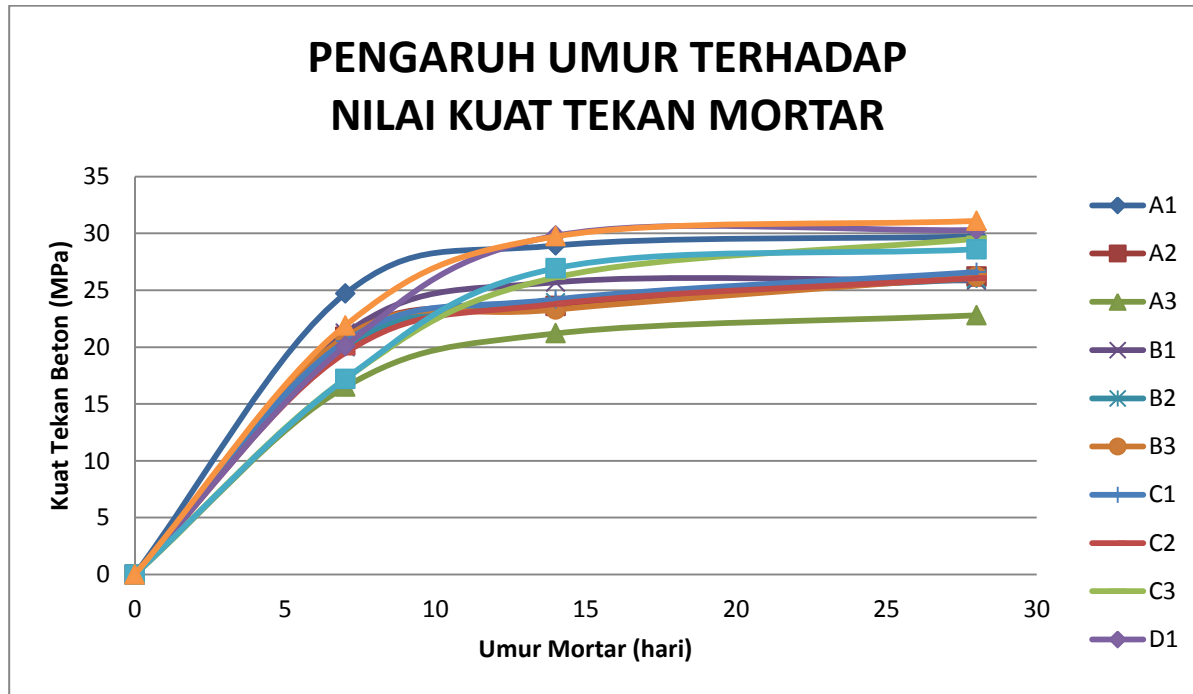
Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (MPa)			Standart Deviasi	KONTROL KUALITAS
	14 hari				
	I	II	III		
BLANKO	26	28.5	28	1.323	Istimewa
GGBFS	29.2	30	29.2	0.462	Istimewa
SILICA FUME	28.5	28	29	0.500	Istimewa
A1	29	29	28.8	0.115	Istimewa
A2	26	23.2	24	1.442	Sangat Baik
A3	19.4	21	21.4	1.058	Istimewa
B1	22	26	25.4	2.157	Cukup
B2	24	23.6	23.8	0.200	Istimewa
B3	24	23	22.6	0.721	Istimewa
C1	26	24	24.4	1.058	Istimewa
C2	24	22.8	23.6	0.611	Istimewa
C3	26	26.4	26	0.231	Istimewa
D1	30	29.4	30	0.346	Istimewa
D2	29.8	30	29.4	0.306	Istimewa
D3	26.8	27.2	26.8	0.231	Istimewa

Tabel 4.22. Kuat tekan mortar 28 hari dalam MPa

Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (MPa)			Standart Deviasi	KONTROL KUALITAS
	28 hari				
	I	II	III		
BLANKO	29.8	30.2	29.6	0.306	Istimewa
GGBFS	33.6	31.8	33	0.917	Istimewa
SILICA FUME	32.6	31.2	32.8	0.872	Istimewa
A1	29.8	29.8	29.6	0.115	Istimewa
A2	27.8	25	25.8	1.442	Sangat Baik
A3	21.6	23.2	23.6	1.058	Istimewa
B1	23.4	27.4	26.8	2.157	Cukup
B2	26.2	25.8	26	0.200	Istimewa
B3	27	26	25.6	0.721	Istimewa
C1	27.8	25.8	26.2	1.058	Istimewa
C2	26.6	25.4	26.2	0.611	Istimewa
C3	29.4	29.8	29.4	0.231	Istimewa
D1	30.6	30	30.6	0.346	Istimewa
D2	31.2	31.4	30.8	0.306	Istimewa
D3	28.4	28.8	28.4	0.231	Istimewa

Tabel 4.23. Kuat tekan mortar rata-rata dalam (MPa)

Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/ f_c (MPa)		
	7hari	14hari	28hari
BLANKO	23.3	27.5	29.8
GGBFS	22.1	29.5	32.8
SILICA FUME	21.7	28.5	32.2
A1	24.7	28.9	29.7
A2	20.9	23.6	26.2
A3	16.5	21.2	22.8
B1	21.2	25.7	25.9
B2	20	23.9	26.0
B3	20.9	23.3	26.2
C1	20.5	24.2	26.6
C2	19.5	23.8	26.1
C3	17.2	26.1	29.5
D1	20.1	29.8	30.4
D2	21.9	29.7	31.1
D3	17.2	26.9	28.5



Gambar 4.20. Grafik kuat tekan mortar

Analisa :

Kuat tekan mortar maksimal adalah 31.1 MPa. Hal ini dikarenakan pemakaian air yang tinggi dengan air per binder (w/c) sebesar 0.48 hingga 0,59. Selain oleh pemakaian air, dropnya nilai kuat tekan mortar disebabkan oleh penggunaan material pasir yang berupa pasir ottawa yang memiliki ukuran dan bentuk butiran yang seragam sehingga mengurangi kuat ikatan antar material

Dari tabel-tabel kuat tekan 7hari, di dapat bahwa variabel dengan campuran semen OPC terbesar menghasilkan kuat tekan paling tinggi. Sedangkan pada tabel kuat tekan 28 hari dihasilkan kuat tekan mortar tertinggi dari benda uji yang menggunakan campuran 80% GGBFS dan 20 % silica fume dibanding berat semen, yaitu benda uji bernama "D2"

Pengaruh GGBFS pada mortar berdampak sangat baik setelah 14hari, karena sifat GGBFS yang reaktif dalam campuran, dan bereaksi setelah sebagian semen bereaksi.

Pengaruh silica fume dalam penelitian ini kurang begitu menguntungkan, di karenakan butiran silica fume yang tidak terlalu halus dibandingkan dengan semen maupun GGBFS. Sehingga kenaikan kuat tekna yang disumbang oleh silica fume sangat kecil, bahkan menurunkan kuat tekan mortar ketika komposisi 30% dari berat semen

Setelah mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu kuat tekan terbaik, maka hasil tersebut akan dipakai dalam campuran sementisius beton serbuk reaktif dengan variabel steel fiber dan superplasticizer

1.4.3 Analisa berat volume mortar

Tes berat volume dilakukan terhadap 3 buah benda kubus ukuran 5cmx5cmx5cm pada 28 hari. Tes Berat Volume tidak dilakukan kepada semua benda uji mortar, namun dipilih 5 campuran mortar yang diperkirakan memiliki kuat tekan tertinggi nantinya.

Dari 15 macam campuran yang ada, maka 5 campuran yang diperkirakan terbaik antara lain A1, C1, C2, D1, D2. Hasil analisa dapat dilihat di tabel dan grafik di bawah ini

Tabel 4.24. Berat sampel mortar

Mortar	Spesi 1 (gram)	Spesi 2 (gram)	Spesi 3 (gram)	Rata-rata
BLANKO	318.1	315.3	320.2	317.67
A1	307.3	309.1	310.1	308.83
C1	309.6	308.4	307.7	308.57
C2	308.2	307.6	306.4	307.4
D1	307.8	308.4	308.2	308.13
D2	307.2	307.3	305.1	306.53

Tabel 4.25. Berat volume sampel mortar

Mortar	Spesi (gram)	Volume (cm ³)	Berat Volume (gram/cm ³)
BLANKO	317.67	125	2.543
A1	308.83	125	2.471
C1	308.57	125	2.469
C2	307.4	125	2.459
D1	308.13	125	2.465
D2	306.53	125	2.452

Analisa:

Dari tabel 4.22 didapat bahwa berat sampel relatif sama, yaitu berkisar di nilai 307 gram. Perbedaan angka ini dikarenakan beberapa hal seperti rojokan yang kurang baik, atau pengisian yang tidak sama volumenya

Berat volume mortar dari 5 contoh relatif sama diantara angka 2.46 gram/cm³. Dengan nilai ini, mortar dengan variasi campuran GGBFS dan silica fume memiliki berat volume yang

lebih kecil ketimbang mortar dengan campuran yang hanya menggunakan semen sebagai binder, yaitu sebesar 2.543 dari penelitian ini

4.5. Beton serbuk reaktif

Beton serbuk reaktif adalah subyek akhir dari tugas akhir ini. Penelitian beton serbuk reaktif menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi 10cm untuk diameter dan 20 cm untuk tinggi silinder.

Desain perbandingan serbuk reaktif yang dipakai didapatkan dari hasil penelitian mortar sebelumnya, yaitu dengan menggunakan perbandingan semen banding GGBFS banding silica fume sebesar 1 banding 0,8 banding 0,2

Rencana komposisi material didapatkan dari penelitian sebelumnya, yaitu dari ACI material journal dengan menggunakan air per binder (w/c) sebesar 0.23 mengingat kebutuhan hidrasi minimal beton dan perbandingan binder banding kerikil banding pasir sebesar 1 banding 0.618 banding 0.418

Mix design beton silinder menggunakan superplasticizer berupa Glenium sky H8851 dan steel fiber berbentuk hooked. Variabel bebas yang dipakai adalah kadar superplasticizer dan persentase steel fiber terhadap volume beton



Gambar 4.21. Beton segar serbuk reaktif



Gambar 4.22. Beton serbuk reaktif

Tabel 4.26. Mix design komposisi beton 1m3

Nama Sampel	Cementitious dari D2 (kg)	Gravel (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Super Plasticizer		FIBER	
					% berat	Berat (kg)	% volume	Berat
1A	1100	680.00	460.00	253.00	2	22	1.7	133.45
1B	1100	680.00	460.00	253.00	4	44	1.7	133.45
1C	1100	680.00	460.00	253.00	6	66	1.7	133.45
2A	1100	680.00	460.00	253.00	2	22	4.00	314
2B	1100	680.00	460.00	253.00	4	44	4.00	314
2C	1100	680.00	460.00	253.00	6	66	4.00	314

1.5.1 Analisa dkuat tekan beton

Pengetesan beton dilakukan pada hari ke 7,14, dan 28 hari dengan alat UTM di lab PT. Semen Indonesia Gresik. Kontrol kualitas yang dipakai berdasarkan nilai kovarian dengan sumber ACI. Hasil penelitian kuat tekan beton dapat dilihat pada bawah ini:

Tabel 4.27. Kuat tekan beton 7 hari dalam ton

Nama benda uji	Kuat Tekan 7 Hari (ton)		
	I	II	III
1A	37.41	37.64	38.64
1B	54.27	53.32	50.42
1C	41.19	40.95	41.41
2A	44.00	41.51	43.09
2B	59.87	66.22	56.63
2C	48.93	45.73	46.23

Tabel 4.28. Kuat tekan beton 14 hari dalam ton

Nama benda uji	Kuat Tekan 14 Hari (ton)		
	I	II	III
1A	44.59	45.48	45.82
1B	63.70	62.89	60.58
1C	49.79	48.09	47.76
2A	52.00	48.85	46.78
2B	70.14	64.82	66.66
2C	56.75	54.75	53.06

Tabel 4.29. Kuat tekan beton 28 hari dalam ton

Nama benda uji	Kuat Tekan 28 Hari (ton)		
	I	II	III
1A	53.67	53.29	54.92
1B	76.36	75.76	72.99
1C	57.43	58.53	57.54
2A	62.78	58.34	59.56
2B	84.35	79.48	77.19
2C	67.05	65.51	65.02

Tabel 4.30. Kuat tekan beton 7 hari dalam MPa

Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (MPa)			RATA-RATA	Standart Deviasi	Kovarian	KONTROL KUALITAS
	7hari						
	I	II	III				
1A	47.6	47.9	49.2	48.2	0.85	1.8	Istimewa
1B	69.1	67.9	64.2	67.1	2.55	3.8	Istimewa
1C	52.5	52.1	52.7	52.4	0.31	0.6	Istimewa
2A	56	52.9	54.9	54.6	1.57	2.9	Istimewa
2B	76.2	84.3	72.1	77.5	6.21	8.0	Cukup
2C	62.3	58.2	58.9	59.8	2.19	3.7	Istimewa

Tabel 4.31. Kuat tekan beton 14 hari dalam MPa

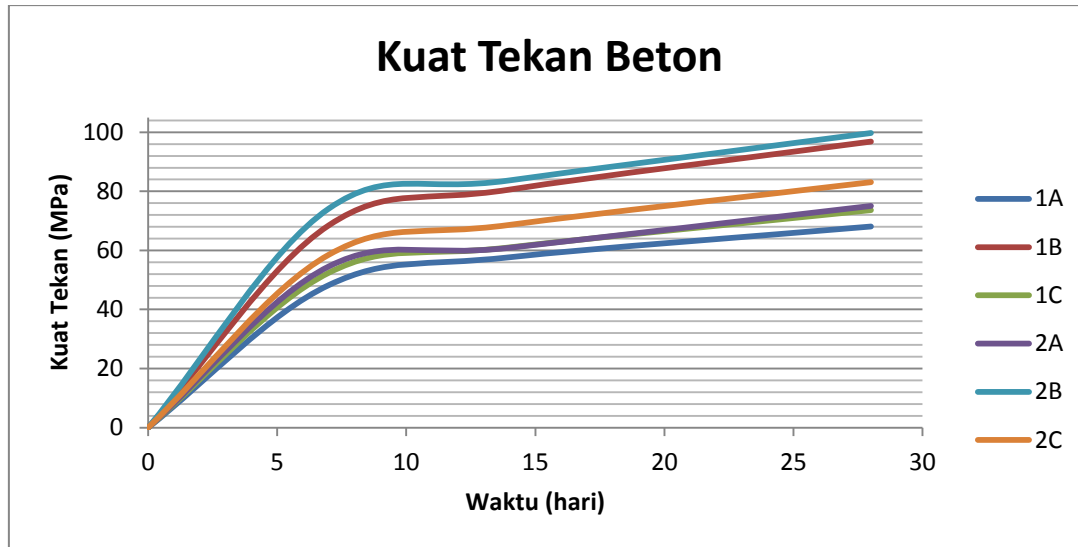
Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (MPa)			RATA-RATA	Standart Deviasi	Kovarian	KONTROL KUALITAS
	14hari						
	I	II	III				
1A	56.8	57.9	58.3	57.7	0.78	1.3	Istimewa
1B	81.1	80.1	77.1	79.4	2.08	2.6	Istimewa
1C	63.4	61.2	60.8	61.8	1.40	2.3	Istimewa
2A	66.2	62.2	59.6	62.7	3.32	5.3	Sangat_Baik
2B	89.3	82.5	84.9	85.6	3.45	4.0	Istimewa
2C	72.3	69.7	67.6	69.9	2.35	3.4	Istimewa

Tabel 4.32. Kuat tekan beton 28 hari dalam MPa

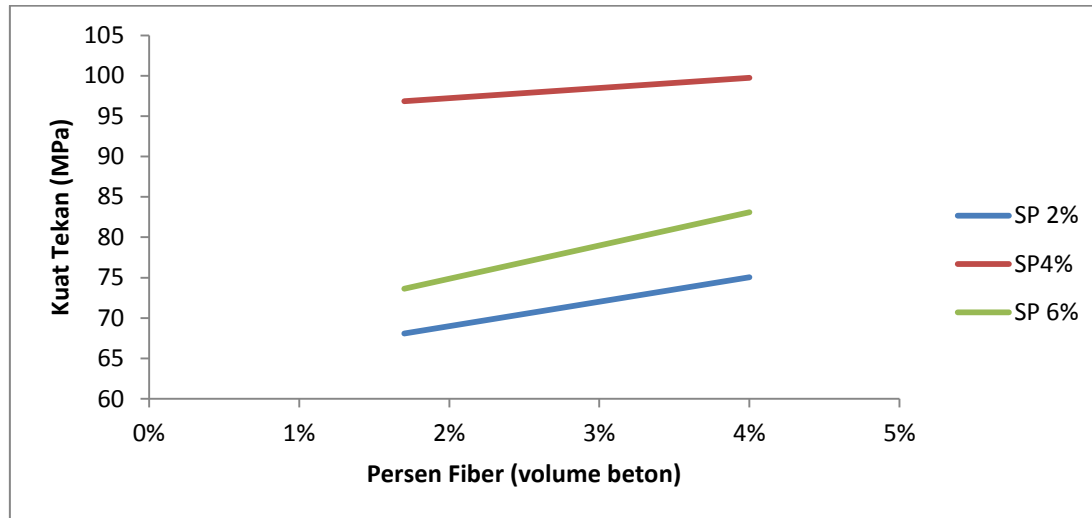
Nama Sampel	Nilai Kuat Tekan Mortar/fc (MPa)			RATA-RATA	Standart Deviasi	Kovarian	KONTROL KUALITAS
	14hari						
	I	II	III				
1A	68.3	67.9	69.9	68.7	1.06	1.5	Istimewa
1B	97.2	96.5	92.9	95.5	2.31	2.4	Istimewa
1C	73.1	74.5	73.3	73.6	0.76	1.0	Istimewa
2A	79.9	74.3	75.8	76.7	2.90	3.8	Istimewa
2B	107	101	98.3	102.1	4.45	4.4	Istimewa
2C	85.4	83.4	82.8	83.9	1.36	1.6	Istimewa

Tabel 4.33. Kuat tekan rata-rata dalam MPa

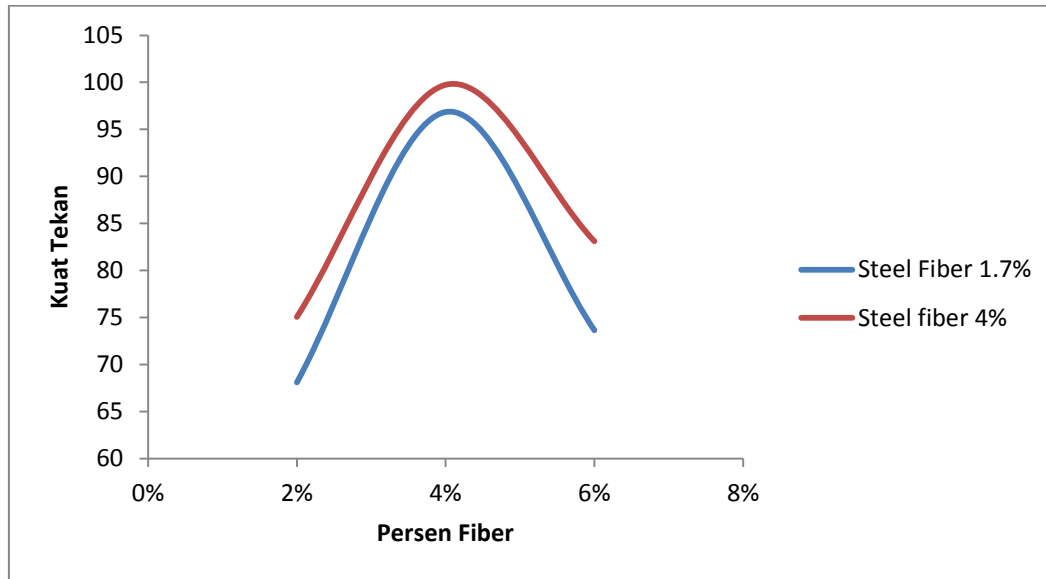
Nama benda uji	Kuat tekan rata-rata (Mpa)		
	7hari	14hari	28hari
1A	48.23	57.67	68.70
1B	67.07	79.43	95.54
1C	52.43	61.80	73.63
2A	54.60	62.67	76.68
2B	77.53	85.57	102.29
2C	59.80	69.87	83.86



Gambar 4.23. Kuat tekan beton



Gambar 4.24. Grafik peningkatan kuat tekan akibat persentase fiber pada beton umur 28hari



Gambar 4.25. Grafik peningkatan kuat tekan beton akibat persentase superplasticizer pada beton umur 28 hari

Analisa:

Dari hasil penelitian, di dapat bahwa dengan menggunakan serbuk reaktif, superplasticizer dan steel fiber maka kuat tekan beton dapat mencapai 101,2 MPa.

Dengan pertambahan superplasticizer tidak selalu menghasilkan beton dengan mutu lebih baik. Hal ini dapat dilihat dengan pemakaian superplasticizer sebesar 6%, maka mutu beton menjadi turun cukup drastis disbanding dengan campuran superplasticizer sebesar 4%.

Steel fiber bersifat menambah mutu kuat tekan beton, dapat dilihat bahwa dengan pemakaian lebih banyak steel fiber yaitu dari 1..7% menjadi 4% maka hal itu akan meningkatkan nilai kuat tekan beton. Hal ini dikarenakan beton seperti tersebutlah oleh steel fiber dan bersifat sedikit komposit. Dengan memanfaatkan kuat tarik fiber dan ikatan beton dengan fiber, maka ketika beton yang seharusnya sudah mengalami crack menjadi belum crack.

Detail pengaruh umur pada beton serbuk reaktif dapat dilihat pada Gambar 4.8. Sedangkan pengaruh material steel fiber dan superplasticizer pada beton umur 28hari dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.

Mix design yang terbaik didapat dengan campuran kadar superplasticizer sebesar 4% dari berat binder dengan steel fiber sebesar 4% dari volume beton.

1.5.2 Analisa berat volume beton

Analisa berat volume beton dilakukan pada semua benda uji pada umur 28hari atau sebanyak 18 buah sesaat sebelum pengetesan kuat tekan dilakukan

Proses penimbangan menggunakan alat timbang dengan ketelitian 0.1 gram. Data hasil penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.34. Berat benda uji beton umur 28hari

Beton	Spesi 1 (gram)	Spesi 2 (gram)	Spesi 3 (gram)	Rata- rata (gram)
1A	4077.0	4031.2	4079.2	4062.5
1B	4106.1	4109.3	4069.3	4094.9
1C	4143.6	4065.8	4140.9	4116.8
2A	4223.6	4395.7	4349.8	4323.0
2B	4251.4	4438.9	4388.5	4359.6
2C	4294.1	4467.2	4418.9	4393.4

Tabel 4.35. Berat volume beton umur 28hari

Beton	Rata- rata (gram)	Volume Beton (cm ³)	Berat Volume Beton (gram/cm ³)
1A	4062.5	1570.796	2.586
1B	4094.9	1570.796	2.607
1C	4116.8	1570.796	2.621
2A	4323.0	1570.796	2.752
2B	4359.6	1570.796	2.775
2C	4393.4	1570.796	2.797

Analisa :

Pengujian tidak meninjau berat volume beton segar melainkan hanya pada beton umur 28hari. Sehingga berat volume beton ini merupakan berat volume beton akhir.

Selisih berat benda uji yang dapat dihitung manual dengan kenyataan dapat diakibatkan oleh faktor susut maupun rojokan yang kurang baik atau disebut faktor human error.

Benda uji beton memiliki berat volume yang lebih besar ketimbang beton pada umumnya, yaitu 2400 kg/m^3 atau 2.4 gram/cm^3 .

Berat volume beton serbuk reaktif diakibatkan terutama oleh berat dari steel fiber yaitu 7850 kg/m^3 atau 7.85 gram/cm^3 , karena penggunaan silica fume dan GGBFS yang lebih ringan dibandingkan dengan berat semen berdampak mereduksi berat volume.

Dengan membandingkan beton contoh sampel 2B yang menghasilkan kuat tekan 99.74 MPa dengan berat volume 2775 kg/m^3 , maka beton serbuk reaktif dengan campuran fiber cukup dapat dipertimbangkan dalam inovasi beton di Indonesia

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Kandungan utama dari GGBFS yaitu CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , dan MgO relatif sama dengan GGBFS pada umumnya. Kadar bersi dari GGBFS relatif kecil yaitu hanya 0.93%.
2. Pengaruh GGBFS sangat baik dalam binder, sedangkan untuk material silica fume tidak sebaik GGBFS. Hal ini dikarenakan dari tingkat kehalusan material yang berbeda jauh
3. Mix design untuk mortar yang paling baik ada pada campuran dengan perbandingan semen banding GGBFS banding silica fume sebesar 1:0.8:0.2
4. Mix design optimal untuk campuran beton ada pada variabel 2B, yaitu steel fiber dengan komposisi 4% dari volume beton, dan superplasticizer 4% dari berat binder.
5. Kuat tekan beton tertinggi mencapai 102.29 MPa, dengan peningkatan 0.2-0.4 MPa per detik saat pengetesan
6. Berat volume beton lebih berat dibanding dengan beton pada umumnya, yaitu sekitar 2286 hingga 2797 kg/m^3 . Hal ini disebabkan oleh pemakaian steel fiber yang memiliki berat 7850 kg/m^3 dalam mix design

1.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Penambahan macam pengetesan, yaitu tingkat susut beton, modulus elastisitas beton, dan tingkat porositas beton sehingga penelitian dapat berlanjut pada penelitian struktur RPC

2. Adanya penelitian RPC menggunakan autoclave dan steam dalam proses curing. Agar penelitian dapat bermanfaat untuk beton pra cetak
3. Adanya peninjauan analisa simulasi biaya dan reduksi ukuran ketika memakai beton RPC untuk struktur

DAFTAR PUSTAKA

- Ade S.R, Karolina Rahmi, 2010. **“Pengaruh Substitusi Abu Kulit Kerang Terhadap Sifat Mekanik Beton (Eksperimental)”**. Skripsi, Sumatra Utara: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sumatra Utara Medan.
- Al-Hassani, H.M., W.I. Khalil, and L.S. Danha, **“Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete With Various Steel Fiber and Silica Fume Contents”**. Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering, 2014. 9(1): p. 47.
- ASTM C117-95, 2006. **“Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing”** ASTM International, US.
- ASTM C127-01, 2006. **“Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate”** ASTM International, US.
- ASTM C128-01, 2006. **“Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate”** ASTM International, US.
- ASTM C128-97, 2006. **“Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate”** ASTM International, US.
- ASTM C131-03, 2006. **“Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine”** ASTM International, US.
- ASTM C136-01, 2006. **“Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”** ASTM International, US.
- ASTM C29-97, 2006. **“Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate”** ASTM International, US.
- ASTM C40-99, 2006. **“Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete”** ASTM International, US.

- ASTM C566-97, **“Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”** ASTM International, US.
- ASTM C566-97, 2006. **“Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”** ASTM International, US.
- Aydin, S. and B. Baradan, **“Engineering Properties of Reactive Powder Concrete without Portland Cement”**. ACI Materials Journal, 2013. 110(6): p. 619-627.
- Aydin, S. and B. Baradan, **“High Temperature Resistance of Alkali-Activated Slag- and Portland Cement-Based Reactive Powder Concrete”**. ACI Materials Journal, 2012. 109(4): p. 463-470.
- Chernov, V., H. Zlotnikov, and M. Shandalov, **“Structural Synthetic Fiber-Reinforced Concrete”**. Concrete International, 2006: p. 56-61.
- Graybeal, B.A. and F. Baby, **“Development of Direct Tension Test Method for UltraHighPerformance Fiber-Reinforced Concrete”**. ACI MATERIALS JOURNAL, 2013. 110(2): p. 177-186.
- Han, V., S. Ros, and H. Shima, **“Effects of Sand Content, Superplasticizer Dosage, and Mixing Time on Compressive Strength of Mortar”**. ACI MATERIALS JOURNAL, 2013. 110(1): p. 23-31.
- Katz, A. and H. Baum, **“Effect of High Levels of Fines Content on Concrete Properties”**. ACI MATERIALS JOURNAL, 2006. 103(6): p. 474-482.
- Kazemi, S. and A.S. Lubell, **“Influence of Specimen Size and Fiber Content on Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete”**. ACI Materials Journal, 2012. 109(6): p. 675-684.
- Kwan, A.K.H., et al., **“Effects of Silica Fume on Heat Generation of Curing Concrete”**. ACI MATERIALS JOURNAL, 2011. 108(6): p. 655-663.

- Lai, J., et al., **“Dynamic Properties of Reactive Powder Concrete Subjected to Repeated Impacts”**. ACI Materials Journal, 2013. 110(4): p. 462-472.
- Lee, N.P. and D.H. Chrisholm, **“Reactive Powder Concrete”**. Building Research Levy, 2005. 146.
- Magureanu, C., et al., **“Mechanical Properties and Durability of Ultra High-Performance Concrete”**. ACI MATERIALS JOURNAL, 2012. 109(2): p. 177-183.
- Malik, A.R. and S.J. Foster, **Carbon Fiber-Reinforced Polymer Confined Reactive Powder Concrete. Columns-Experimental Investigation**. ACI Materials Journal 2010. 107(3): p. 263-271.
- Oliman, A.M. and M.L. Nehdi, **“Self-Accelerated Reactive Powder Concrete Using Partially Hydrated Cementitious Materials”**. ACI Materials Journal, 2011. 108(6): p. 596-604.
- Peng, G.-F., et al., **“Experimental Research on Fire Resistance of Reactive Powder Concrete”**. Hindawi Publishing Corporation - Advances in Materials Science and Engineering, 2012. 2012(3): p. 6.
- Ranade, R., et al., **“Composite Properties of High-Strength, High-Ductility Concrete”**. ACI MATERIALS JOURNAL, 2013. 110(4): p. 413-422.
- Serdar, A., et al., **“Effect of Aggregate Type on Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete”**. ACI Materials Journal, 2010. 107(5): p. 441-449.
- Shaheen, E. and N. Shrive, **“Optimization of Mechanical Properties and Durability of Reactive Powder Concrete”**. ACI Materials Journal, 2006. 103(6): p. 444-451.
- Wille, K., A.E. Naaman, and G.J. Parra-Montesinos, **“Ultra-High Performance Concrete with Compressive Strength Exceeding 150 MPa (22 ksi): A Simpler Way”**. ACI Materials Journal, 2011. 108: p. 46-54.
- Wille, K. and A.E. Naaman, **“Effect of Ultra-High-Performance Concrete on Pullout Behavior of High-Strength Brass-**

- Coated Straight Steel Fibers**". ACI Materials Journal, 2013. 110(4): p. 451-462.
- Wille, K. and A.E. Naaman, **"Pullout Behavior of High-Strength Steel Fibers Embedded in UltraHigh-Performance Concrete"**. ACI Materials Journal, 2012. 109(5): p. 479-488.
- Wille, K., A.E. Naaman, and S. El-Tawil, **"Optimizing Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete"**. Concrete International, 2011: p. 35-41.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Blitar, 2 Maret 1993, dengan nama Candra Gunawan. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Santa Maria Blitar(1997-1999), SDK Santa Maria Blitar (1999-2005), SLTP SMPK 3 Yos Soedarso Blitar (2005-2008), SMAK Kolese Santo Yusup Malang (2008-2011). Menempuh pendidikan di S1 Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 311100027, penulis mengambil bidang studi material bangunan beton dengan judul Tugas Akhir “*Perilaku Kekuatan Tekan Beton Serbuk Reaktif*”. Penulis bisa dihubungi melalui email, candra0203@gmail.com.